

Санкт-Петербургский государственный университет

На правах рукописи

Николаев Александр Сергеевич

**Физиологические основы восприятия речи детей с расстройствами
аутистического спектра**

Научная специальность 1.5.5. Физиология человека и животных

Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук, профессор

Ляксо Елена Евгеньевна

Санкт-Петербург

2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1. Метод перцептивного эксперимента в речевых исследованиях	11
1.2. Влияние физиологических и психологических особенностей слушателей на определение информации, содержащейся в речи	13
1.3. Процесс речеобразования и мозговая организация речи	14
1.4. Характеристика речевого развития типично развивающихся детей в возрасте 5–14 лет	18
1.5. Характеристика детей с расстройствами аутистического спектра	19
1.5.1. Общие особенности расстройств аутистического спектра	19
1.5.2. Особенности речи детей с расстройствами аутистического спектра	21
2. МЕТОДИКА	24
2.1. Объект исследования	24
2.2. Дизайн исследования	24
2.3. Методики исследования	25
2.3.1. Физиологические и психофизиологические методы	25
2.3.2. Психологический тест для определения уровня тревожности	27
2.3.3. Лингвистический анализ речи детей	28
2.3.4. Перцептивный эксперимент	28
2.3.5. Акустический спектрографический анализ	32
2.3.6. Статистический анализ	33
3. РЕЗУЛЬТАТЫ	35
3.1. Физиологические и психофизиологические характеристики auditors	35
3.1.1. Пороги слуха auditors	35
3.1.2. Данные дихотического тестирования	38
3.1.3. Проверка фонематического слуха	38
3.1.4. Профиль функциональной латеральной асимметрии	38
3.1.5. Характеристика электрокардиограммы и частоты сердечных сокращений auditors	39
3.1.6. Уровень тревожности auditors	40
3.2. Данные лингвистического анализа речи детей	41
3.3. Распознавание взрослыми лексического значения слов детей	44
3.3.1. Данные перцептивного эксперимента	44
3.3.2. Акустические характеристики тестового материала	46
3.4. Распознавание взрослыми психоневрологического состояния детей	54

3.4.1. Данные перцептивного эксперимента.....	54
3.4.2. Акустические характеристики тестового материала (слова).....	63
3.4.3. Акустические характеристики тестового материала (фразы).....	68
3.4.4. Связь между распознаванием аудиторами психоневрологического состояния детей и акустическими характеристиками тестового материала	74
3.5. Распознавание взрослыми эмоционального состояния детей.....	76
3.5.1. Данные перцептивного эксперимента.....	76
3.5.2. Акустические характеристики тестового материала	84
3.5.3. Связь между распознаванием аудиторами эмоционального состояния детей и акустическими характеристиками тестового материала.....	89
4. ОБСУЖДЕНИЕ	92
ВЫВОДЫ	96
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Речь человека содержит в себе разнообразную информацию, посредством речи человек передаёт и получает сведения об окружающем мире, голосовые характеристики человека отражают его настроение и состояние.

В исследованиях голоса и речи широко применяется метод слухового перцептивного эксперимента. Исследуется возможность определения по голосу возраста и пола говорящего (Gou et al., 2016), его роста и веса (Bruckert et al., 2006). Многочисленные исследования направлены на изучение возможности распознавания по речевым сигналам эмоционального состояния говорящего (Kaya et al., 2017; Grosbras, Ross, Belin, 2018; Ляко и др., 2021; García-Guerrero et al., 2022). Изучается вопрос возможности распознавания патологических состояний по характеристикам голоса и речи (Jones et al., 2019; O'Leary et al., 2020; Verkhodanova et al., 2020). Метод перцептивного эксперимента применяется и в клинических исследованиях, так как особенности голоса и речи могут служить диагностическим признаком (Kent, 2009).

Помимо перцептивного эксперимента, широко используются методы инструментального анализа, направленные на изучение акустико-фонетического строения речи. Работы с использованием этих методов включают исследования интонации речевых сообщений (Ward, Hirshberg, 1985; Rockwell, 2000; Scharrer, Christmann, 2011), вопросы определения и категоризации фонем, места ударения, словесной границы (Sanders et al., 2002). Важным направлением исследований является изучение акустических характеристик речи детей с типичным и атипичным развитием в процессе её становления (Kuhl, Meltzoff, 1996; Ляко, 1998; Vorperian, Kent, 2007; Fusaroli et al., 2017).

Одним из актуальных направлений исследований является изучение характеристик голоса и речи людей с расстройствами аутистического спектра (РАС). РАС называется группа расстройств развития, объединённых комплексом общих симптомов. Эти симптомы включают нарушение или атипичность социального поведения, ограниченность форм поведения и склонность к стереотипным действиями и нарушения речи и языка (Kanner, 1943; Wing, 1993). Нарушения речи у детей с расстройствами аутистического спектра могут проявляться на разных уровнях её организации: артикуляционном, грамматическом, прагматическом. К общим патологическим особенностям речи детей с РАС относятся эхолалия, бедный по сравнению с типично развивающимися (ТР) сверстниками словарный запас, нарушение грамматического строя фраз. Ряд работ посвящен исследованию слухового восприятия речи детей с РАС (Redford et al., 2017;

Frolova et al., 2019; Frolova et al., 2020; Lyakso et al., 2020; Николаев, Ляксо, 2020). В этих работах показана способность слушателей определять по речевым сигналам детей значение сказанного, их пол, возраст, психоневрологический статус (принадлежит речь ребёнку с типичным или атипичным развитием).

В последние десятилетия внимание исследователей сосредоточено на изучении влияния индивидуальных особенностей слушателя, таких как пол, возраст, профессиональный опыт, на восприятие им речевой информации (Smith et al., 2012; Goy et al., 2016; Lausen, Schlacht, 2018; Frolova et al., 2019). Эти исследования имеют практическую направленность, связанную с подбором персонала при работе людьми с атипичным развитием, при создании компьютерных приложений, адресованных определённому кругу людей. Исследования влияния физиологических и психофизиологических особенностей слушателя на характер восприятия им речи единичны (например, Lyakso et al., 2017), что и позволило сформировать цель данного исследования.

Цель исследования:

Изучить влияние физиологических и психофизиологических характеристик взрослых на восприятие информации, содержащейся в речи детей с расстройствами аутистического спектра.

Задачи исследования:

1. Определить особенности распознавания лексического значения слов детей с расстройствами аутистического спектра и типично развивающихся детей взрослыми в зависимости от их физиологических и психофизиологических характеристик, пола и возраста и установить характеристики речи детей, значимые для правильного распознавания.
2. Определить способность классификации психоневрологического состояния: «типичное развитие (норма) — расстройства аутистического спектра» — взрослыми в зависимости от их физиологических и психофизиологических характеристик, пола и возраста и установить характеристики речи, значимые для правильного распознавания.
3. Определить особенности распознавания эмоционального состояния детей с расстройствами аутистического спектра и типично развивающихся детей взрослыми в зависимости от их физиологических и психофизиологических характеристик, пола и возраста и установить характеристики речи, значимые для правильного распознавания.

Научная новизна

Новизна исследования заключается в применении комплексного подхода для изучения информации, содержащейся в речи детей типично развивающихся и детей с расстройствами аутистического спектра; в получении оригинальных данных на материале русского языка о влиянии индивидуальных характеристик аудиторов на распознавание ими информации, содержащейся в речи детей с РАС и ТР детей 5–14 лет.

Впервые в рамках одного исследования получены новые и оригинальные данные о физиологических и психофизиологических характеристиках взрослых, определяющих в перцептивном эксперименте по речи детей с РАС и ТР детей, живущих в русскоязычной среде, информацию об их психоневрологическом статусе, эмоциональном состоянии:

1) Выявлены показатели, специфические для распознавания лексического значения слов детей с РАС — пол и возраст аудитора, уровень тревожности; для распознавания значения слов ТР детей — пороги слуха аудитора; для классификации психоневрологического состояния детей — пол аудитора, пороги слуха, ведущее полушарие по речи, уровень тревожности; для распознавания эмоционального состояния детей с РАС — пол аудитора, опыт взаимодействия с детьми, пороги слуха; для распознавания эмоционального состояния ТР детей — пол, возраст, ведущее полушарие по речи, уровень тревожности аудитора.

2) Получены данные об акустических характеристиках речи детей с РАС и ТР детей: скорость речи, длительность ударных и безударных гласных, длительность пауз в высказываниях, значения частоты основного тона (ЧОТ) ударных и безударных гласных, значения формантных частот — влияющих на распознавание лексического значения слов, психоневрологического и эмоционального состояния ТР детей и детей с РАС. Данные об акустических характеристиках речи детей с РАС легли в основу определения совокупности признаков, которые можно рассматривать в качестве биомаркера аутизма (Lyakso et al., 2021).

3) Впервые на материале русского языка выявлены зависимости между физиологическими и психофизиологическими характеристиками взрослых и их способностью к определению психоневрологического и эмоционального состояния детей с РАС и ТР детей, лексического значения их слов. Показано, что на распознавание информации, содержащейся в речи детей с РАС и ТР детей, влияют разные физиологические и психофизиологические характеристики аудиторов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость проведённого исследования заключается в выявлении факторов, которые влияют на распознавание речи детей с расстройствами аутистического спектра и типично развивающихся; в описании физиологических показателей взрослых, влияющих на распознавание лексического значения слов, психоневрологического и эмоционального состояния детей при прослушивании их речевых сигналов. Описанные в работе акустические характеристики речи детей с РАС расширяют представление о процессах речеобразования в условиях атипичного развития в диапазоне от дошкольного до среднего школьного возраста (5–14 лет).

Практическая значимость работы заключается:

1) В возможности использования полученных в работе данных в медицинской практике для определения уровня сформированности речи детей с РАС, их эмоциональной сферы и психоневрологического состояния. Выявленные акустические особенности речи детей с РАС могут рассматриваться в качестве биомаркера аутизма и использоваться как дополнительный диагностический признак.

2) Данные о физиологических показателях взрослых: порогах слуха, ведущем полушарии по речи, уровне тревожности — могут быть учтены при подборе персонала, работающего с детьми с расстройствами аутистического спектра.

3) Данные слухового перцептивного эксперимента о распознавании людьми информации, содержащейся в речи типично развивающихся детей и детей с РАС, служат «золотым стандартом» для автоматического распознавания. Полученные данные об акустических характеристиках речи детей с РАС, влияющих на распознавание её слушателями, используются при разработке методов автоматического распознавания эмоционального состояния по речи (Matveev et al., 2022; Lyakso et al., 2023), что в дальнейшем будет использовано при создании систем экспресс-диагностики заболевания; для разработки обучающих программ и развивающих игр, предназначенных для детей с РАС.

Результаты данного исследования используются в ряде лекционных курсов: «Психофизиология речи: часть 2», «Патология речевого поведения», читаемых для магистрантов биологического факультета СПбГУ; «Психофизиология речевой деятельности» — для магистрантов филологического факультета по программе «Искусственный интеллект в моделировании речевой деятельности»; используются в лекционных и практических занятиях по курсу «Основы речевых технологий» для магистрантов факультета информационных технологий и программирования Университета ИТМО.

Степень достоверности

Результаты исследования получены на сертифицированном профессиональном оборудовании и программном обеспечении, использована достаточная для получения необходимых данных выборка информантов и испытуемых (аудиторов). Исследование проведено с использованием стандартизированных методик, разработанных в Группе по изучению детской речи СПбГУ. Используются адекватные методы статистического анализа экспериментальных данных.

Апробация результатов

Материалы диссертации представлены на II Всероссийской акустической конференции (Нижний Новгород, 2017), международной научно-практической конференции молодых ученых «Психология XXI века» (Санкт-Петербург, 2017, 2019), международной научной конференции «Проблемы онтолингвистики» (Санкт-Петербург, 2018, 2019, 2021, 2023), VI Съезде физиологов СНГ (Сочи, 2019), международной конференции «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий» (Санкт-Петербург, 2022). В соавторстве доклады представлены на международных конференциях: “Speech and Computer — SPECOM” (Лейпциг, Германия, 2018; Стамбул, Турция, 2019; Гуруграм, Индия, 2022; Дхарвад, Индия, 2023), “International Psychological Applications and Trends — InPACT” (Лиссабон, Португалия, 2021), 24-м Международном акустическом конгрессе (Кёнджу, Южная Корея, 2021), Международной конференции «Язык, сознание, коммуникация: проблемы информационного общества» (Москва, 2023); 25-й Международной конференции по мультимодальному взаимодействию (Париж, Франция, 2023); XXIV съезде Российского физиологического общества им. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, 2023).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 40 печатных работ, из них 18 статей: 4 статьи — перечня ВАК, 13 статей — WOS и Scopus.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания методики исследования, результатов, их обсуждения, выводов, списка сокращений, списка литературы, приложения. Текст диссертации изложен на 112 страницах, содержит 36 рисунков, 42 таблицы. Список литературы включает 156 источников, из них 116 зарубежных.

Работа поддержана персональным грантом Американского акустического общества (2019). Участие в качестве исполнителя в работе по грантам: РФФИ — №18-18-00063, международному проекту РФФИ-DST № 22-45-02007 (руководитель Е. Е. Ляксо); РФФИ — №17-06-00503-ОГН (руководитель Е. Е. Ляксо), 15-06-07852 (руководитель О. В. Фролова).

Основные научные результаты

1. Для детей, растущих в русскоязычном окружении, впервые в перцептивном эксперименте выявлены особенности распознавания взрослыми информации, содержащейся в речи детей с РАС и ТР детей: лексического значения (Николаев и др., 2018, стр. 68; Lyakso et al., 2019, p. 7; Ляксо и др., 2021, стр. 1399–1400; Lyakso et al., 2022, p. 584–587), психоневрологического статуса (Frolova et al., 2019, p. 106–108; Lyakso et al., 2020, pp. 298–299; Ляксо и др., 2020, стр. 70, 72; Lyakso et al., 2022, p. 584–587; Ляксо и др., 2021, стр. 1399–1401), эмоционального состояния (Lyakso et al., 2020, pp. 299; Ляксо и др. 2020, стр. 72–73; Lyakso et al., 2022, p. 584–587; Ляксо и др., 2021, стр. 1399–1401; Lyakso et al., 2023, p. 476–477). Личное участие автора заключалось в подборе речевого материала для перцептивных экспериментов, подборе групп взрослых – аудиторов, прослушивающих речевой материал детей, составлении тестовых последовательностей, проведении перцептивных экспериментов, статистической обработке полученных данных.
2. Определены физиологические и психофизиологические характеристики аудиторов, влияющие на распознавание ими лексического значения слов детей с РАС и ТР детей, их психоневрологического и эмоционального состояния: пол, возраст аудитора, бытовой и профессиональный опыт взаимодействия с детьми, пороги слуха аудитора, ведущее полушарие по речи, уровень личностной и ситуативной тревожности (Frolova et al., 2019, p. 106–110; ; Frolova et al., 2020, p. 753; Ляксо и др., 2020, стр. 1400–1401; Николаев и др., 2020, стр. 657; Lyakso et al., 2022, p. 585–587). Личное участие автора диссертации состояло в тестировании аудиторов с целью определения физиологического и психофизиологического состояния, статистической обработке данных, полученных в ходе экспериментов.
3. Данные о распознавании взрослыми информации о ребенке по характеристикам его голоса использованы при разработке методов автоматической классификации эмоционального состояния по речевым сигналам (Matveev et al., 2022, pp. 6–8; Matveev et al., 2023, p. 12–13; Lyakso et al., 2023, pp. 543–545). Вклад автора — подготовка аудиофайлов и их аннотирование для автоматического распознавания.

4. В работе описаны акустические характеристики речи детей с РАС и ТР детей: скорость речи, длительность ударных и безударных гласных, длительность пауз в высказываниях, значения частоты основного тона (ЧОТ) ударных и безударных гласных, значения формантных частот — влияющих на распознавание лексического значения слов (Николаев и др., 2018, стр. 69–70; Lyakso et al., 2020, pp. 296–298; Frolova et al., 2019, p. 109–110), психоневрологического (Frolova et al., 2019, p. 109; Lyakso et al., 2020, pp. 296–299) и эмоционального (Lyakso et al., 2020, pp. 299–300; Lyakso et al., 2023, p. 474) состояния детей. Описаны лингвистические особенности речи детей с РАС и ТР детей в диалогах со взрослыми: структура ответных реплик, частота встречаемости различных частей речи и их разнообразие (Николаев и др., 2019; стр. 95–98; Makhnytina et al., 2021, pp. 401–404). Личное участие автора диссертации в получении результатов заключалось в отборе речевого материала детей с РАС и ТР детей, инструментальном анализе речевого материала, статистической обработке данных.

Положения, выносимые на защиту

1. На распознавание лексического значения слов детей с расстройствами аутистического спектра влияют пол и возраст аудитора, уровень тревожности; на распознавание значения слов типично развивающихся детей — пороги слуха аудитора; значения частоты основного тона и длительности гласных влияют на распознавание аудиторами значения слов детей с расстройствами аутистического спектра и типично развивающихся детей.
2. На классификацию психоневрологического состояния детей влияют пол аудитора, пороги слуха, ведущее полушарие по речи, уровень тревожности; особенности речи детей: структура ответных реплик в диалогах со взрослым, скорость речи, значения частоты основного тона и длительности гласных в словах.
3. На распознавание эмоционального состояния детей с расстройствами аутистического спектра влияют пол аудитора, опыт взаимодействия с детьми, пороги слуха; на распознавание эмоционального состояния типично развивающихся детей — пол, возраст, ведущее полушарие по речи, уровень тревожности аудитора; на правильное распознавание эмоционального состояния детей с расстройствами аутистического спектра и типично развивающихся детей влияют значения частоты основного тона фраз, слов и ударных гласных, значения вариативности частоты основного тона.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Метод перцептивного эксперимента в речевых исследованиях

Метод перцептивного эксперимента широко используется в исследованиях, направленных на изучение восприятия речи (Бондарко, 1998). Метод используется как в лингвистических и психологических исследованиях, так и в биомедицинских. Перцептивные эксперименты используются в работах, посвящённых изучению распознавания слушателями речевых сигналов: отдельных фонем, слов, предложений, голоса в целом; их различения и сравнения (Lieberman et al., 1967; Gelfer, 1988; Bruckert et al., 2006; Goy et al., 2016).

Одной из областей исследований восприятия речи является изучение акустико-фонетического строения речи. К нему относятся исследования интонации речевых сообщений на материале разных языков. В работах, посвящённых изучению интонации, исследуется определение слушателями как общего типа высказывания (повествовательное, вопросительное, побудительное), так и его более частных характеристик: грубость, вежливость, неуверенность, ирония и т.д. (Ward, Hirshberg, 1985; Rockwell, 2000; Scharrer, Christmann, 2011; Дурягин, Фокина, 2021).

Исследуются вопросы выделения и описание акустических ключей для определения и категоризации гласных и согласных фонем, места ударения, словесной границы. В этих исследованиях данные, полученные в ходе перцептивных экспериментов, сопоставляются с данными спектрографического анализа речевых сигналов (Sanders et al., 2002; Ягунова, 2012; Кривнова и др., 2018).

Широко изучаются особенности становления речи детей с типичным и атипичным развитием. На материале разных языков получены данные об акустических характеристиках речи детей от рождения до подросткового возраста (Ляксо, 1998; Kuhl, Meltzoff, 1996; Vorperian, Kent, 2007; Ballard et al., 2012, Brehm et al., 2012; Ляксо, Григорьев, 2013). Описаны акустические особенности речи детей с РАС: высокие значения длительности и ЧОТ гласных, вариативность ЧОТ, атипичная интонация, несформированность или неправильное произношение ряда согласных фонем (Cleland et al. 2010; Boucher, 2012; Wolk, Brennan, 2016, Lyakso et al., 2017); синдромом Дауна: повышенные по сравнению с ТР детьми значения ЧОТ и длительности гласных, атипичное произношение, связанное с анатомическими особенностями артикуляционного аппарата, снижение разницы между формантными частотами кардинальных гласных (/a/, /i/, /u/) (Moura et al., 2008; Kent, Vorperian, 2013; Carl et al., 2020, Frolova et al., 2019),

синдромом Вильямса (Rossi, Giacheti, 2017; Loveall et al., 2021), нарушениями слуха (Frosolini et al., 2023).

Другой областью речевых исследований является изучения возможности определения на основе слухового восприятия информации об индивидуальных особенностях говорящего. Показана возможность определения по голосу и речи возраста и пола говорящего (Goy et al., 2016), его роста и веса (Bruckert et al., 2006), расовой и этнической принадлежности (Purnell et al., 1999; Perrachione et al., 2010).

В исследованиях слухового восприятия изучается возможность распознавания слушателями особенностей речи людей с различными диагнозами, такими как синдром Дауна (Jones et al., 2019; O'Leary et al., 2020), расстройства аутистического спектра (Lyakso, Frolova, 2020), дизартрия (Schölderle, Haas, Ziegler, 2023). Показана способность слушателей на основе слухового восприятия определить, принадлежит речь человеку с типичным или атипичным развитием. Одним из методов выделения особенностей речи, характерных для того или иного диагноза, является использование оценочных шкал. В работе (Jones et al., 2019) слушателям предлагалось оценить речь и голос детей с синдромом Дауна по ряду признаков, таким как громкость, монотонность, скорость речи, разборчивость и т.д.

Ряд исследований направлен на изучение отражения (Grigorev et al., 2022) и распознавания эмоционального состояния говорящего. Показано, что взрослые способны определять по речи эмоциональное состояние ребёнка (Kaya et al., 2017), на протяжении детского и подросткового возраста способность к распознаванию эмоционального состояния в речи увеличивается (Grosbras, Ross, Belin, 2018; García-Guerrero et al., 2022). Слушатели способны определить эмоциональное состояние даже при прослушивании речи на незнакомом языке, т. е. ориентируясь только на характеристики голоса, хотя и менее точно по сравнению с речью на родном языке (Lyakso et al., 2023; Lyakso et al., 2023).

Исследуются особенности распознавания эмоционального состояния взрослых и детей как с типичным развитием, так и с различными диагнозами: РАС (Lyakso et al., 2018; Ляксо и др., 2021), синдром Дауна (Lyakso et al., 2019; Lyakso et al., 2020), умственная отсталость (Frolova et al., 2023), нарушения слуха (de Jong et al., 2023). Показано, что слушатели испытывают трудности при распознавании эмоционального состояния детей с атипичным развитием по сравнению с распознаванием состояния ТР детей.

В качестве контроля метод перцептивного эксперимента используется и при разработке систем автоматического распознавания речевой информации — качество таких

систем определяется сравнением с результатами, полученными при распознавании речи людьми (Spille et al., 2018; Lyakso et al., 2022; Matveev et al., 2022; Matveev et al., 2023).

1.2. Влияние физиологических и психологических особенностей слушателей на определение информации, содержащейся в речи

Проводятся исследования влияния влияния личных особенностей слушателя на восприятие речевого материала. Так, получены данные, что на восприятие речи влияет возраст слушающего и говорящего (Smith et al., 2012; Goy et al., 2016). В работе (Smith et al., 2012) показано, что молодые слушатели лучше, чем пожилые, распознают искажённые речевые сигналы. В работе (Goy et al., 2016) молодые и пожилые слушатели оценивали приятность голоса говорящего и определяли его возраст и пол. Молодые слушатели чаще относили к приятным голоса молодых людей, чем пожилых, и лучше определяли по голосу возраст говорящего, в то время как слушатели старшего возраста лучше определяли пол.

В кросс-культурных исследованиях показано влияние родного языка слушателя на распознавание эмоционального состояния говорящего, в том числе при прослушивании псевдослов и бессмысленных сообщений (Jiang et al., 2015; Lyakso et al., 2023).

Пол слушателя может влиять на распознавание эмоционального состояния говорящего. В работе (Scherer, Scherer, 2011) слушателям предлагались немецкие псевдопредложения, произнесённые профессиональными актёрами в пяти эмоциональных состояниях: радость — печаль — гнев — страх — нейтральное состояние. В работе (Lausen, Schlacht, 2018) стимульный материал включал как семантически осмысленные слова и фразы, так и псевдослова и псевдопредложения, произнесённых актёрами в шести эмоциональных состояниях: радость — печаль — гнев — страх — отвращение — нейтральное состояние. В обоих исследованиях отмечается, что женщины в целом распознали эмоциональное состояние лучше, чем мужчины, однако разница в вероятности распознавания конкретных эмоций невелика.

Слушатели, обладающие профессиональным опытом работы с детьми с нарушениями развития, лучше распознают психоневрологическое состояние детей по голосу по сравнению со слушателями, не имеющими такого опыта (Frolova et al., 2019; Ляксо и др., 2020).

Исследования, посвящённые влиянию характеристик слуха на восприятие речи, проводятся преимущественно в контексте изучения слуховых нарушений (Carvalho et al., 2016; Норре et al., 2022). Исследования людей с нормальным слухом немногочисленны. В работе (Lyakso et al., 2017) показано влияние порогов слуха и показателей

фонематического слуха на определение значения сказанного, определение интонации и возраста детей с РАС. Слушатели с более низкими порогами слуха лучше распознают значение слов детей; слушатели без нарушений фонематического слуха лучше определяют интонацию и возраст детей с РАС.

Исследуется влияние уровня тревожности на восприятие информации слуховой и зрительной информации. В исследовании (Mattys et al., 2013) слушателям с высоким и низким уровнем тревоги предлагалось различать похожие по звучанию слова; слушатели с высокой тревожностью показывали худшие результаты в этом задании. Высокий уровень тревожности может снижать успешность распознавания лиц на фотографиях (Attwood et al., 2013). В исследовании влияния тревожности на распознавание эмоций (Kang et al., 2019) выявлено, что люди с высоким уровнем тревожности хуже распознают по лицевой экспрессии позитивные эмоциональные проявления, но лучше — негативные. Исследования влияния тревожности на распознавание эмоций в речи немногочисленны и посвящены в основном пациентам с тревожными расстройствами. Данные этих исследований противоречивы: отмечается как более высокая точность распознавания эмоциональных проявлений в голосе (Madison et al., 2021), так и более низкая (Tseng et al., 2017).

Следует отметить, что работы, посвящённые изучению физиологических и психологических особенностей слушателей, влияющих на распознавание информации, содержащейся в речи, на материале русского языка единичны (Lyakso et al., 2017; Frolova et al., 2019).

1.3. Процесс речеобразования и мозговая организация речи

Речь представляет собой специфическую форму поведения человека, обслуживающую две неразрывно связанные стороны его деятельности — коммуникативную и интеллектуально-мыслительную (Ляксо и др., 2012).

Речеобразование — это строго скоординированный поведенческий акт, состоящий из многочисленных жестов артикуляционных органов, посредством которого реализуется важнейший механизм обмена информацией между людьми (Деркач и др., 1983). Речевой сигнал представляет собой звуковую волну и служит средством передачи как вербальной, так и невербальной информации. Для создания речевого сигнала используется речевой аппарат, совмещённый с органами дыхания и измельчения пищи (Зиндер, 1979).

Речевой аппарат человека включает генератор звука (гортань), резонаторную часть (глотка, носовая полость, гайморовы пазухи), энергетический аппарат (трахея, бронхи,

лёгкие, диафрагма) и артикуляционный аппарат (ротовая полость, язык, зубы, губы, мягкое и твёрдое нёбо) (Кодзасов, Кривнова, 2001) (рис. 1).

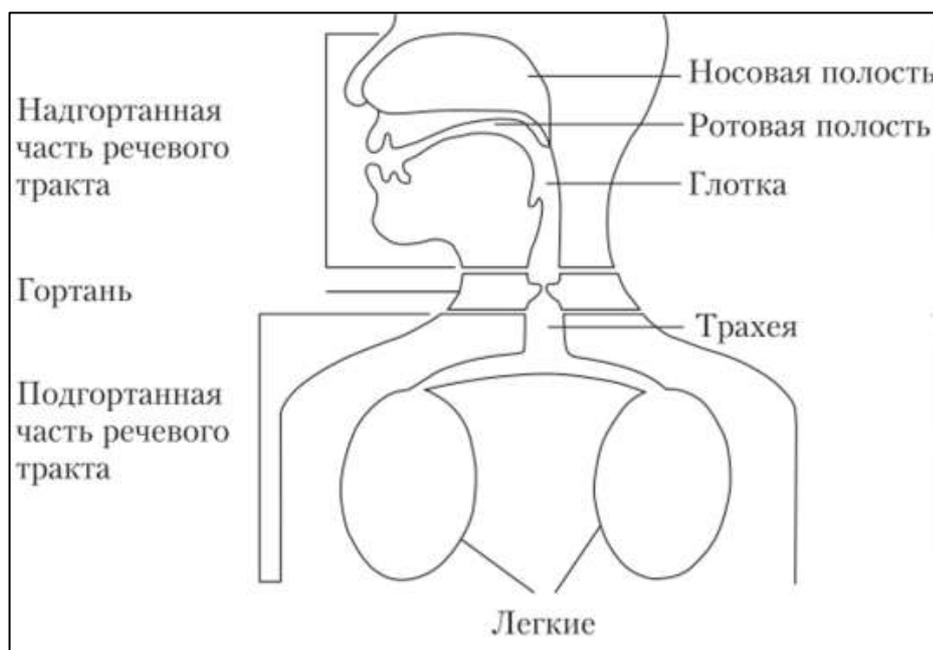


Рис. 1. Схема речевого тракта человека (Кодзасов, Кривнова, 2001)

Основным энергетическим элементом речеобразования является воздух. Воздух поступает из лёгких через бронхи и трахею в гортань, где образуется звук. Внутри гортани находятся голосовые складки, которые приходят в колебательное движение благодаря подскладочному давлению и собственному натяжению.

Для образования голоса голосовые складки сводятся с помощью черпаловидных хрящей, к которым они прикреплены. Сведение голосовых складок приводит к запиранию воздуха и возникновению разницы давлений над и под складками. В результате перепада давлений складки размыкаются, и воздух начинает проникать в образовавшуюся щель. При смещении голосовых складок возникают эластические силы, способствующие возврату складок в исходное положение. Периодические открытия и закрытия голосовой щели преобразуют воздушный поток в последовательность импульсов воздушного давления (Ляксо и др., 2012). Разные конфигурации голосовой щели создают разные виды колебаний голосовых складок. В результате такой вибрации появляется периодический комплексный звук, состоящий из основной частоты (F_0 , ЧОТ) и нескольких десятков гармоник основной частоты, обертонов (Деркач и др., 1983). Возникший звук подвергается частотной фильтрации под влиянием изменения объёмов полостей речевого тракта. Изменение положения артикуляционных органов влияет на формирование речевого сигнала, каждое такое положение соответствует отдельному звуку — фонеме.

Фонема — это минимальная звуковая единица языка (Бондарко, 1998). Все фонемы подразделяются на гласные и согласные. В русском языке 6 гласных и 36 согласных фонем. Гласные (кроме шёпотной речи) произносятся при обязательном участии голосовых складок, для произнесения согласных участие голосовых складок не обязательно. Для произнесения гласных ведущую роль играет положение губ и языка, для произнесения согласных необходимо участие всего артикуляционного аппарата.

Положение языка при артикуляции гласных меняется в двух плоскостях: по уровню его подъёма в ротовой полости и по уровню продвижения вперёд и назад. В русском языке выделяется три подъёма: верхний, средний и нижний. Гласные верхнего подъёма также называют закрытыми, гласные нижнего подъёма — открытыми. По уровню продвижения языка выделяется три ряда гласных: передние, средние и задние. По положению губ выделяются огубленные (лабиализованные) гласные и неогубленные (нелабиализованные) (Бондарко, 1998) (табл. 1).

Таблица 1. Гласные русского языка (по Бондарко, 1998)

Подъём	Ряд		
	передний	средний	задний
	неогубленные		огубленные
Верхний	/и/	/ы/	/у/
Средний	/э/		/о/
Нижний		/а/	

Наиболее энергетически выраженные максимумы, обусловленные работой речевого тракта как резонатора и фильтра, называются формантами (Фант, 1970). Максимальное число формант зависит от длины речевого тракта. Форманты характеризуют распределение энергии сигнала по оси частот. Форманты обозначаются как F1, F2, F3 и т.д., начиная с низкочастотной части спектра. Наиболее важное значение для различения гласных звуков имеют низкочастотные форманты, прежде всего F1, F2 (Деркач и др., 1983), которые называются акустическими ключами для отнесения звука к той или иной фонемной категории (Чистович и др., 1965). Частота первой форманты связана с подъёмом гласного: частота первой форманты ниже у гласных верхнего подъёма и выше у гласных нижнего подъёма. Частота второй форманты связана с рядом гласного: гласные переднего ряда имеют более высокую частоту второй форманты, чем гласные заднего ряда.

На произнесение согласных влияет место образования, способ образования, положение голосовых складок, положение языка и положение мягкого нёба.

Звуки речи обычно произносятся не изолированно, а в сочетании между собой, происходит коартикуляция, что указывает на сложность этого процесса (Кодзасов, Кривнова, 2001).

Обеспечение речевой функции осуществляется за счёт работы префронтальной, височной, затылочной областей коры головного мозга, а также лимбической системы. Управление деятельностью речевого аппарата осуществляется корой больших полушарий. В реализации речи главную роль играет левое полушарие при активном участии правого (Вартанян, 1988). В левом полушарии располагаются центры, связанные с речевой деятельностью: область Брока (поля 44–45 по Бродману) — центр речепродукции; область Вернике (поле 22 по Бродману) — центр восприятия речи; дополнительная моторная область, являющаяся частью лобной доли (Батуев, 2009). Однако считается, что обработка речевой информации происходит при взаимодействии двух полушарий: левое полушарие осуществляет посегментный анализ речевого сигнала, правое использует целостный принцип анализа, сопоставляя акустический образ сигнала с эталонами в памяти (Морозов и др., 1988). Правое полушарие доминирует при восприятии слов на фоне шума (Галунов и др., 1986).

При восприятии речи сигналы сначала поступают в первичную слуховую кору, в области Вернике, находящейся в височной доле, происходит фонематический анализ и понимание информации. При произнесении слова его представление передаётся из области Вернике в область Брока через дугообразный пучок. В области Брока происходит преобразование представления слова в артикуляционную программу, которая затем поступает в лицевую область моторной коры. При чтении информация поступает сначала в первичную зрительную кору, потом направляется в угловую извилину, связывающую визуальную форму слова с его звуковым аналогом в зоне Вернике. В современных работах показано участие зоны Брока в восприятии как устной, так и письменной речи (Wilson et al., 2004; Walenski et al., 2019), в обработке синтаксической структуры высказывания (Friederici, 2002).

Нарушения речи: задержка речевого развития, атипичное речевое развитие, регресс в речевом развитии и др. — могут быть обусловлены функциональными и анатомическими изменениями или нарушениями в работе периферических и центральных отделов речевой и слуховой системы. Наиболее тяжёлые нарушения возникают в случае возникновения дефектов в пренатальном и/или раннем постнатальном периодах развития. Нарушения речевого развития при расстройствах аутистического спектра связаны с

абнормальным функционированием речевой системы, обусловленном изменениями в пренатальном онтогенезе (Ляксо и др., 2020).

1.4. Характеристика речевого развития типично развивающихся детей в возрасте 5–14 лет

Период 5–14 лет включает дошкольный (5–7), младший школьный (8–11) и подростковый возраст (12–14). В дошкольный период у детей происходит освоение фонетики родного языка, дети учатся произносить слова с разным составом фонем и слогов. К пяти годам у детей заканчивается формирование правильного произношения большинства фонем, сформировано словесное ударение, но не сформировано фразовое (Ляксо, Громова, 2005). В этот период происходит усложнение синтаксической структуры высказываний, ответные реплики приобретают черты монологической речи: большая длительность высказывания, правильность структурирования текста, отсутствие лексических и грамматических ошибок (Ляксо, Столярова, 2008). В 5–6 лет у детей сформирована способность самостоятельно создавать текстовые сообщения (Цейтлин, 2000). К семилетнему возрасту у детей происходит увеличение числа реплик, состоящих из нескольких фраз. Для детей в этом возрасте характерны сбои речевого дыхания в момент произнесения сложных фраз, связанные с затруднением лексико-грамматического оформления высказывания (Белякова, Филатова, 2008). В этом же возрасте завершается лексико-грамматическое формирование речи (Белякова, Волоскова, 2009).

С началом школьного обучения у детей происходит формирование навыков чтения и письма, пассивный лексикон в этом возрасте составляет 7–8 тысяч слов и увеличивается до 12–15 тысяч к концу обучения в начальной школе (Львов, 2000). Дети усваивают абстрактные понятия, у них образуются представления о многозначности слова, в речи увеличивается доля сложных предложений.

С возрастом у детей снижаются значения длительности гласных и их частотных характеристик. К 12–15 годам они достигают значений, характерных для взрослой речи (Lee et al., 1999). Стабилизация значений длительности ударных и безударных гласных у детей может свидетельствовать об окончании процесса формирования речевого дыхания (Noit et al., 1990).

С 8–12 лет вместе с процессами полового созревания происходит понижение значений частотных характеристик гласных, начинают проявляться половые различия, голос у мальчиков становится более низким, чем у девочек (Lee et al., 1999; Lee, Iverson, 2008). На материале разных языков описан нелинейный характер изменения значений ЧОТ у мальчиков с резкими снижениями в 6–8 и 12–15 лет, в то время как у девочек

снижение значений ЧОТ носит происходит более равномерно (Markova et al., 2016; Grigorev et al., 2018).

В работах на материале русского языка показана динамика изменения временных и спектральных характеристик речи детей 5–16 лет: частоты основного тона, формантных частот гласных, длительности ударных и безударных гласных (Ляксо, Григорьев, 2013; Григорьев, Ляксо, 2014; Григорьев, Ляксо, 2017; Ляксо и др., 2018).

1.5. Характеристика детей с расстройствами аутистического спектра

1.5.1. Общие особенности расстройств аутистического спектра

Впервые термин «аутизм» был введён швейцарским психиатром Э. Блейлером в 1911 году для обозначения погружённости во внутренние переживания и отрыва от реальности при шизофрении. Первое описание аутизма как самостоятельного диагноза было дано Л. Каннером в 1943 году в работе «Аутистические нарушения аффективного контакта», где было предложено выделить в отдельный класс расстройств патологические состояния детей, сопровождающиеся самоизоляцией и начинающиеся с первых лет жизни. Эти расстройства были названы ранним детским аутизмом и считались разновидностью шизофрении (Kanner, 1943). В 1944 году австрийский психиатр Г. Аспергер описал аутистическую психопатию, которая позже была названа синдромом Аспергера (Wing, 1981). В XX веке аутистические расстройства относили к психозам, нарушениям развития или шизофрении.

В настоящее время расстройства аутистического спектра (РАС) согласно МКБ-10 (Международной классификации болезней 10-го пересмотра) определены как общие нарушения развития и включают несколько диагнозов, объединённых похожей симптоматикой:

- 1) детский аутизм, или синдром Каннера (F84.0)
- 2) атипичный аутизм (F84.1);
- 3) синдром Ретта (F84.2);
- 4) другое дезинтегративное расстройство детского возраста (F84.3);
- 5) гиперактивное расстройство, сочетающееся с умственной отсталостью и стереотипными движениями (F84.4);
- 6) синдром Аспергера (F84.5).

Комплекс общих симптомов, наблюдающийся при этих диагнозах, называется аутистической триадой и включает нарушение или атипичность социального поведения (в особенности межличностных коммуникаций), ограниченность форм поведения и склонность к стереотипным действиям, нарушение языка и речи. Для детей с РАС степень

выраженности аутистической симптоматики, возраст её проявления и наличие ведущего симптомокомплекса являются индивидуальными (Wing, 1993). РАС выявляются преимущественно у мальчиков (Volkmar, Nelson, 1990), хотя конкретное соотношение остаётся не вполне ясным, что может быть связано с особенностями диагностики заболевания (Harpur et al., 2024).

Проявления детского аутизма обычно начинаются в возрасте от 18 до 30 месяцев, к дополнительным симптомам при детском аутизме также относятся слуховая и тактильная гиперчувствительность, проявления агрессии к окружающим и аутоагрессия, пониженный болевой порог, гиперактивность, резкие перемены настроения (Семянникова, 2013).

Атипичный аутизм характеризуется либо отличающимся от детского аутизма возрастом начала, либо отсутствием одного из признаков аутистической триады. Этот диагноз чаще всего встречается у детей умственной отсталостью, которая и приводит к появлению характерного для аутизма поведения (Незнанов и др., 2009).

Синдром Ретта встречается исключительно у девочек. Первые нарушения развития проявляются в возрасте от 4 месяцев до 2,5 лет. Синдром Ретта характеризуется замедлением темпов психомоторного развития, у детей происходит регресс ранее приобретённых навыков, потеря контакта с окружающими, часто наблюдаются нарушения дыхания, возможны судорожные припадки. В дальнейшем дети с синдромом Ретта отличаются глубокой умственной отсталостью и двигательными расстройствами (Hagberg et al., 1983).

При детском дезинтегративном расстройстве развитие ребёнка до возраста 1,5–4 года идёт без каких-либо аномалий, а затем появляются тяжёлые симптомы аутизма и происходит значительный регресс ранее приобретённых навыков (Незнанов и др., 2009).

Синдром Аспергера отличается от детского аутизма ранним развитием речи, сохранением навыков адаптации и нормальным или высоким уровнем интеллекта. Разновидностью синдрома Аспергера является савантизм — состояние, при котором человек имеет выдающиеся способности в одной или нескольких областях, контрастирующие с общей ограниченностью поведения (Wing, 1993).

Согласно диагностическому и статистическому руководству по психическим расстройствам 5-го издания (DSM-5) РАС определяется как спектр психологических характеристик, описывающих широкий круг аномального поведения и затруднений в социальном взаимодействии и коммуникациях, а также жёстко ограниченных интересов и часто повторяющихся поведенческих актов, и включает аутизм (синдром Каннера), синдром Аспергера, детское дезинтегративное расстройство, неспецифическое первазивное нарушение развития.

В настоящее время для диагностики РАС активно используются стандартизированные диагностические опросники и шкалы. Диагностические опросники представляют собой структурированную беседу с родителями, где принимается во внимание как симптоматика, так и история развития ребёнка.

Методика оценочных шкал заключается в описывании тех или иных признаков в баллах. Одной из наиболее используемых шкал является Оценочная шкала детского аутизма (Childhood Autism Rating Scale, CARS). Оценка по этой шкале производится по информации, полученной от родителей. CARS содержит 15 разделов, каждый из которых оценивает определённую область, шкала учитывает частоту и интенсивность выделенных патологических признаков (Schopler et al., 1980). Согласно этой шкале, баллы менее 30 указывают на отсутствие аутизма, результат 30–36 баллов соответствует лёгкой или средней степени аутизма, 37–60 баллов — тяжёлой степени аутизма.

1.5.2. Особенности речи детей с расстройствами аутистического спектра

Одним из главных нарушений, проявляющихся при РАС, является нарушение речи, проявляющееся в виде недоразвития или отсутствия у детей навыков разговорной речи по сравнению с типично развивающимися сверстниками (Ляксо и др. 2016; Watson et al., 2011). На ранних этапах РАС речь может развиваться нормально или даже ускоренно, однако со временем начинается обратный процесс, проявляющийся сначала в виде остановки речевого развития, а затем и в виде регресса. В зависимости от тяжести расстройства нарушения речи могут проявляться на разных уровнях её организации (артикуляционном, грамматическом, прагматическом). Уровень речевого развития детей с РАС может варьировать от хорошо сформированной речи у детей с высокофункциональным аутизмом (Grossman et al., 2013) до полного отсутствия речи (мутизма). Общими патологическими особенностями речи для большинства детей с РАС являются эхολалия, бедный по сравнению со сверстниками словарный запас, нарушение грамматического строя фраз. Также у детей с РАС имеются трудности с пониманием чужой речи (McGregor et al., 2012), дети с РАС реже отзываются на своё имя (Hatch et al., 2021). Показано, что дети с РАС лучше понимают значение и произносят отдельные слова, чем фразовые конструкции (Kelley et al., 2006).

У детей с РАС наблюдается «нормальная» и «специфическая» речь. «Нормальная речь» включает в себя слова и фразы, при этом отмечается нарушения или несформированность разных уровней её организации (артикуляционного, грамматического, прагматического). «Специфическая» речь представлена эхολалией,

повтором слогов и наличием «собственного языка» — невнятных вокализаций, значение которых непонятно даже в контексте ситуации (Ляксо и др., 2016).

Дети с РАС имеют нарушения диалогической речи, речь в разговоре обращена не к собеседнику, в высказывании часто отсутствует экспрессия. Речь детей с РАС представлена преимущественно отдельными словами и короткими простыми фразами (Rapin et al., 2009; Ляксо и др., 2016; Николаев и др., 2019; Makhnytina et al., 2021), в их лексике преобладают существительные (Tek et al., 2014; Boorse et al., 2019). Отмечается своеобразное словоупотребление у детей с РАС, в частности использование слов в неправильном значении. Показано отставание детей с РАС по сравнению с ТР детьми в усвоении грамматических конструкций: предлогов направления, множественного числа, вспомогательных и модальных глаголов, местоимений (Boucher, 2012). Дети с РАС отличаются от ТР детей по использованию личных, указательных (Terzi et al., 2019; Mazzaggio, Shield, 2020) и предметных местоимений.

У большинства детей с РАС отмечаются нарушения артикуляции (Boucher, 2012), проявляющиеся в виде неправильного или атипичного произношения фонем (Wolk, Brennan, 2016; Lyakso et al., 2019), несформированности аффрикат, неправильного произношения кластеров согласных и т.д. (Cleland et al., 2010). В работе на материале английского языка показано, что в речи детей с РАС в возрасте трёх лет присутствует меньший набор согласных, чем у их ТР сверстников (Schoen et al., 2011).

В классической работе Каннера (Kanner, 1943) речь детей с аутизмом описана как монотонная, однако современные исследования речи детей с РАС на материале разных языков указывают на высокие значения частоты основного тона и её вариативность (Bonneh et al., 2010; Sharda et al., 2010; Filipe et al., 2014; Lyakso et al., 2017; Николаев и др., 2018; Lyakso et al., 2020; Patel et al., 2020; Chen et al., 2022). Есть также и работы, в которых показано отсутствие значимых различий между значениями ЧОТ детей с РАС и ТР детей (Schriberg et al., 2011), что, по-видимому, обусловлено ситуациями записи речи. У детей с РАС отмечают аномальную просодику и атипичное словесное и фразовое ударение (Paul et al., 2005; Bonneh et al., 2010; Diehl, Paul, 2013), более низкую скорость речи (Patel et al., 2020). В некоторых работах речь детей с РАС описывается как монотонная (Redford et al., 2018), в других указывается на большую по сравнению с типично развивающимися сверстниками интонационную вариативность (Diehl et al., 2009; Fusaroli et al., 2017).

Согласно классификации (Лебединская, Никольская, 1991) нарушения речи у детей с РАС подразделяются на четыре типа. При первом типе нарушение речевого развития происходит в 2–2,5 года, обычно на фоне заболевания или какого-то другого

отрицательного развития. Нередко дети полностью утрачивают приобретённые речевые навыки, однако понимают обращённую к ним речь. Второй тип нарушений характеризуется задержкой речевого развития, устойчивыми нарушениями произношения, аграмматизмами и атипичным темпом речи. Для третьего типа нарушений характерно ускоренное раннее речевое развитие детей с РАС, у детей быстро пополняется словарный запас, однако речь монологична, содержит большое количество штампов, иногда речь обрывистая, скандированная. При четвёртом типе нарушений раннее речевое развитие детей с РАС по срокам близко к развитию речи у ТР детей, однако в возрасте 2–2,5 лет речевая активность детей снижается и развитие приостанавливается, в это время сокращается активный лексикон детей, практически исчезает фразовая речь, появляется эхолалия, при этом понимание речи у детей находится на более высоком уровне, чем при других вариантах нарушений.

Представленные данные указывают, что внимание исследователей преимущественно сосредоточено на описании разных уровней сформированности речи у детей с РАС. Работы, направленные на изучение восприятия речи информантов с РАС, единичны.

2. МЕТОДИКА

2.1. Объект исследования

В исследовании приняли участие 208 взрослых носителей русского языка (аудиторов) в возрасте $25 \pm 4,5$ лет (мужчин 100, женщин 106); 2 эксперта; 82 ребёнка в возрасте 5–14 лет: 35 детей с РАС (30 мальчиков, 5 девочек) и 47 ТР детей (37 мальчиков, 10 девочек).

Дети с РАС по шкале CARS (Schopler et al., 1980) имели баллы от 31 до 43, что соответствует лёгкой, средней и тяжёлой степени выраженности аутистических расстройств. Группа детей с РАС представлена преимущественно мальчиками, что соответствует частоте проявления аутистических расстройств (Volkmar, Nelson, 1990; Nicholas et al., 2008), поэтому группа ТР детей сформирована аналогичным образом. ТР дети не имели диагностированных хронических заболеваний, нарушений слуха и строения речевого аппарата.

Речевой материал детей отобран из базы «AD_Child.Ru» (Lyakso et al., 2019) и включал слова и фразы, вырезанные из записей спонтанной речи. База «AD_Child.Ru» содержит речевые файлы детей, записанные в стандартизированных модельных ситуациях: игра ребёнка со стандартным набором игрушек; описание картинки и ответы на вопросы экспериментатора по ней; диалог экспериментатора с ребёнком, в ходе которого экспериментатор задавал с стандартный набор вопросов о школе, друзьях, семье, любимых занятиях, домашних животных и пр.

Речевой материал, представленный в базе, записан на профессиональную аппаратуру: цифровой рекордер «Marantz PMD660» (диапазон частот записи — 20–16000 Гц) с выносным микрофоном «SENNHEISER e835S» (его звукозаписывающий тракт имеет линейную равномерную частотную характеристику в диапазоне 80–14500 Гц). Формат записи файлов — WAV. База включает записи поведения детей, что необходимо учитывать при анализе речевого материала детей с атипичным развитием, так как их речь может быть непонятной вне контекста ситуации. Для видеозаписи поведения детей использовали камеру «SONY HDR-CX560» (максимальное разрешение — 1920x1080 при 50 кадрах/с).

2.2. Дизайн исследования

1. Разработка протокола исследования.
2. Подбор взрослых (аудиторов) для перцептивного исследования, подписание ими информированного согласия на участие в исследовании.

3. Физиологическое и психофизиологическое тестирование аудиторов: определение порогов слуха, ведущего полушария по речи, профиля функциональной латеральной асимметрии, показателей электрокардиограммы и частоты сердечных сокращений, уровня тревожности.
4. Отбор записей речи детей для анализа: детей с РАС, ТР детей — контрольная группа.
5. Лингвистический анализ речи детей.
6. Перцептивный эксперимент: составление тестовых последовательностей для перцептивного анализа, разработка анкет для аудиторов; проведение перцептивного эксперимента; обработка анкетных данных.
7. Инструментальный анализ речи детей.
8. Статистический анализ.

2.3. Методики исследования

2.3.1. Физиологические и психофизиологические методы

У всех аудиторов определяли пороги слуха методом тональной аудиометрии, проводили дихотическое тестирование (определение коэффициента латерального предпочтения по речи). Определяли профиль функциональной латеральной асимметрии (ПФЛА, серия тестов на выявление ведущего глаза, уха, руки и ноги), проверяли фонематический слух, определяли уровень личностной и ситуативной тревожности (тест Спилбергера).

2.3.1.1. Пороги слуха

Определение порогов слуха аудиторов проводили с использованием аудиометра АА-02 в автоматизированном режиме. Частота предъявляемых сигналов: 125–8000 Гц, интенсивность: 0–95 дБ. Методом тональной аудиометрии определяются пороги слышимости чистых (синусоидальных) тонов. Аудиометр позволяет измерять как воздушную (через наушники), так и костную (через вибратор, устанавливаемый позади уха, — при наличии каких-либо патологий наружного и среднего уха) проводимость. Измеренные пороги слышимости измеряются в децибелах (дБ) по отношению к среднестатистическим порогам нормального слуха. Разница между измеренными и нормальными порогам характеризует потерю слуха. Согласно классификации Всемирной организации здравоохранения (1997) в норме пороги слуха находятся в диапазоне 0–25 дБ. Во время определения порогов слуха аудиометр генерирует чистые тоны в диапазоне от 125 до 8000 Гц, которые подаются аудитору через наушники. На каждую частоту подают постепенно усиливающийся сигнал с шагом в 5 дБ до тех пор, пока у аудитора не возникнет слуховое ощущение, которое и

является порогом слуха. При возникновении слухового ощущения аудитор должен нажимать на кнопку. Определение порогов слуха проводят для левого и правого уха по отдельности. Результаты аудиометрии заносят в специальные бланки аудиограмм (рис.2).

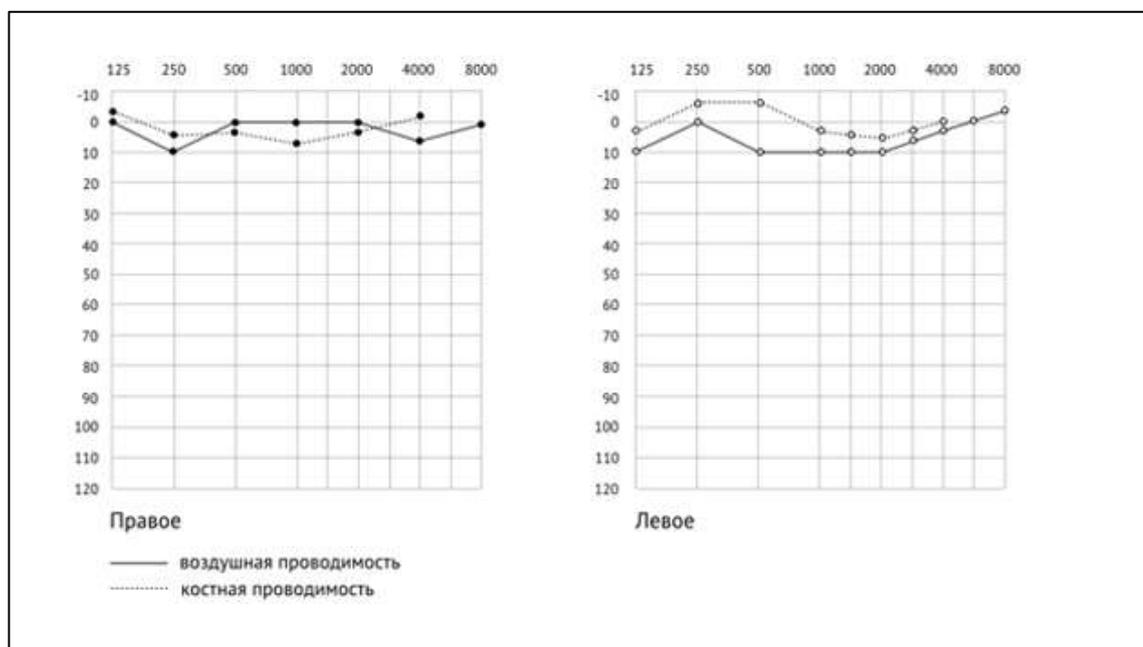


Рис. 2. Пример аудиограммы с нормальными порогами слуха, не превышающими 25 дБ на всех исследуемых частотах.

2.3.1.2. Дихотическое тестирование

Для определения ведущего полушария по речи аудиторам через наушники предъявляли тестовую последовательность, состоящую из 60 пар слов, в каждой паре одно слово подавалось в левое ухо, другое — в правое. Аудитор должен был повторять услышанные слова, экспериментатор отмечал в бланке ответы с левого уха и ответы с правого уха. Коэффициент латерального предпочтения считали по формуле (Kimura, 1961):

$$\text{КЛП} = \frac{Пв - Лв}{Пв + Лв} \times 100\%,$$

где *Пв* — число правых выборов, *Лв* — число левых выборов.

2.3.1.3. Проверка фонематического слуха

Аудиторам, которым предложено было определить лексическое значение слов детей, проводили проверку фонематического слуха (Ляксо и др., 2012). Аудиторам с планшета предъявляли тестовую последовательность, содержащую двойки (например, *ка-га, та-да*) и тройки (например, *ба-ба-на, фа-фа-ва*) слогов, подобранные логопедом и произнесённые профессиональным диктором. Тест включал по 18 последовательностей

слов, по 9 двоек и троек соответственно. Тест предъявляли в открытом поле. Аудитор должен был правильно повторить услышанные слоги.

2.3.1.4. Определение профиля функциональной латеральной асимметрии

Профиль функциональной латеральной асимметрии определяли по методике (Николаева, 2005). Определение ПФЛА включало несколько проб на выявление ведущей руки, ноги, глаза, уха, таких как открыть спичечный коробок, поймать мяч одной рукой, скрестить руки на груди, подпрыгнуть на одной ноге, сделать шаг вперёд, положить ногу на ногу, посмотреть в подзорную трубу, моргнуть одним глазом, приложить телефон к уху, прислушаться одним ухом к тиканью часов. Для каждого из заданий считали КЛП:

$$\text{КЛП} = \frac{P_{\text{в}} - L_{\text{в}}}{P_{\text{в}} + L_{\text{в}}} \times 100\%,$$

где *P_в* — число правых выборов, *L_в* — число левых выборов.

Затем вычисляли общий КЛП по всем заданиям.

2.3.1.5. Регистрация электрокардиограммы и измерение частоты сердечных сокращений

В дополнительном эксперименте аудиторы прослушивали два теста, один из которых содержал эмоциональную речь ТР детей, другой — детей с РАС. Во время прослушивания теста у аудиторов регистрировали ЭКГ с помощью электрокардиографа ЭКГК-02 Валента во всех отведениях с конечностей (стандартные — I, II, III; и усиленные — aVL, aVR, aVF). Параллельно с регистрацией ЭКГ измеряли частоту сердечных сокращений (ЧСС).

Сначала аудиторам регистрировали фоновую ЭКГ в течение одной минуты, после аудиторам предлагали прослушать аудиотест, во время которого продолжалась регистрация ЭКГ, после прослушивания снова регистрировали фоновую ЭКГ в течение одной минуты.

Во время обработки результатов анализировали изменение ЧСС и значений RR интервалов (средних, максимальных и минимальных) аудиторов до и после прослушивания тестов.

2.3.2. Психологический тест для определения уровня тревожности

Тест Спилберга (Spielberger, 1970; русскоязычная адаптация — Ханин, 1976) для оценки тревожности состоит из 20 высказываний, относящихся к тревожности как состоянию (состояние тревожности, реактивная или ситуативная тревожность), и 20

высказываний на определение тревожности как диспозиции, личностной особенности (свойство тревожности). В первом разделе теста испытуемому предлагается прочитать каждое из приведённых высказываний и отметить число от 1 до 4 в графе справа от высказывания в зависимости от того, как он себя чувствует в текущий момент, где 1 — это «нет, это не так», а 4 — «совершенно верно». Во втором разделе теста испытуемому предлагается прочитать и отметить аналогичным образом каждое из высказываний в зависимости от того, как он себя чувствует обычно.

Итоговый показатель по каждой из разделов может находиться в диапазоне от 20 до 80 баллов. Результат менее 30 баллов свидетельствует о низком уровне тревожности, от 31 до 44 — об умеренном, от 45 баллов — о высоком уровне тревожности.

2.3.3. Лингвистический анализ речи детей

Для оценки уровня сформированности речи детей провели лингвистический анализ текстов диалогов детей с экспериментатором, включающий оценку сложности реплик, подсчёт частоты встречаемости разных частей речи на основании методики (Ляксо и др., 2012).

При оценке сложности реплик высказывания детей, реплики подразделяли на следующие категории: 1) речеподобные конструкции, значение которых непонятно даже в контексте ситуации; 2) ответ да/нет; 3) одно слово; 4) простая фраза; 5) две простые фразы; 6) несколько простых фраз; 7) сложноподчинённое предложение.

При подсчёте частоты встречаемости разных частей речи учитывали: 1) речеподобные конструкции; 2) существительные; 3) глаголы; 4) прилагательные; 5) наречия; 6) местоимения; 7) служебные части речи.

Для оценки разнообразия типов реплик в диалогах детей и слов, представленных разными частями речи, считали индекс разнообразия Симпсона по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^Z \left[\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right],$$

где n_i — число элементов в группе i (всего Z групп, $\sum n_i = N$), N — объём выборки. Поскольку значение D снижается по мере роста разнообразия, индекс Симпсона часто используют в форме $(1 - D)$ (Розенберг, 2007).

2.3.4. Перцептивный эксперимент

С целью оценки возможности распознавания взрослыми информации, содержащейся в речи детей, проведён перцептивный эксперимент.

Для перцептивного эксперимента создано 14 тестовых последовательностей (аудиотестов), содержащие по 30 речевых сигналов (слова, фразы): 13 тестов содержали равное количество сигналов детей с РАС и ТР детей; 1 дополнительный тест содержал только сигналы детей с РАС. Каждый сигнал в тестах предъявлялся однократно, интервал между сигналами — 5 с.

Отбор речевого материала для тестов, содержащих эмоциональную речь детей, проводился двумя экспертами, не участвующими в последующих перцептивных экспериментах. Эксперты аннотировали речевой материал по трём состояниями: «комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт» — на основании протокола записи, просмотра видеозаписей и прослушивания аудиофайлов. Речевой материал включали в тестовую последовательность в случае одинаковой оценки обоих экспертов (согласованность между экспертами — k -коэффициент Коэна = 1,0).

Предварительного обучения аудиторов не проводили. Предъявление тестовых последовательностей осуществляли в открытом поле.

В зависимости от речевого материала, содержащегося в тесте, перед аудиторами стояли следующие задачи:

- 1) определение лексического значения слов детей;
- 2) определение психоневрологического состояния детей (типичное — атипичное развитие);
- 3) определение эмоционального состояния детей (комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт) (табл. 2).

Таблица 2. Информация о тестовых последовательностях

№	Речевой материал	Возраст детей, л	Средний балл CARS	Задание — определить:	Кол-во аудиторов
1	Слова	5–7	35±4,5	1) лексическое значение 2) психоневрологическое состояние	17
2	Слова	8–9	32,8±2,6	1) лексическое значение 2) психоневрологическое состояние	12
3	Слова	10–11	30,4±0,6	1) лексическое значение 2) психоневрологическое состояние	10
4	Слова	10–11	30,4±0,6	лексическое значение	10
5	Слова	12–14	31,5±1,2	1) лексическое значение 2) психоневрологическое состояние	16

Продолжение таблицы 2

№	Речевой материал	Возраст детей, л	Средний балл CARS	Задание — определить:	Кол-во аудиторов
6	Фразы	5–7	38,1±3,8	психоневрологическое состояние	17
7	Фразы	8–9	35,5±3,5	психоневрологическое состояние	10
8	Фразы	10–11	33,6±3,8	психоневрологическое состояние	10
9	Фразы	12–14	31,5±1,2	психоневрологическое состояние	17
10	Фразы	5–7	33,2±4,3	эмоциональное состояние	13
11	Фразы	8–9	35±2,4	эмоциональное состояние	10
12	Фразы	10–11	30,8±0,9	эмоциональное состояние	13
13	Фразы	12–14	31,5±1,2	эмоциональное состояние	13
14	Фразы	10–14	34±4,5	психоневрологическое состояние	38

Перед прохождением тестов аудиторы получали анкеты, в которых указывали информацию о себе: пол, возраст, опыт взаимодействия с детьми (наличие младших братьев или сестёр, наличие собственных детей, опыт работы с детьми).

В исследовании принял участие 201 аудитор в возрасте 25±4,5 лет (мужчин 96, женщин 105; с опытом взаимодействия с детьми — 134, без опыта 67): студенты-биологи (n = 65), студенты IT-направления (кафедра речевых технологий университета ИТМО) (n = 87), студенты-лингвисты (n = 16), студенты-педиатры 1 курса (n = 19), ординаторы-психиатры (n = 14). Отдельную группу составили врачи — детские психиатры со стажем работы не менее 10 лет (n = 5) (табл. 3).

Таблица 3. Информация об аудиторах

№	Группа аудиторов	Число аудиторов, n			Возраст, л	Опыт		
		общее	мужчины	женщины		бытовой	проф.	без опыта
1	Студенты-биологи	65	10	55	24,2±2,7	15	31	19
2	Студенты IT-направления	87	67	20	23±1,9	40	12	35
3	Студенты-лингвисты	16	5	11	26,5±2,5	5	6	5

<i>Продолжение таблицы 3</i>								
№	Группа аудиторов	Число аудиторов			Возраст, л	Опыт		
		общее	мужчины	женщины		бытовой	проф.	без опыта
4	Студенты — педиатры 1 курса	19	9	10	18,5±1,5	12	0	7
5	Ординаторы-психиатры	14	5	9	25,1±0,9	0	14	0
6	Детские психиатры	5	3	2	47,2±3	0	5	0

проф. — профессиональный опыт

Результаты перцептивного эксперимента представляли в виде матриц спутывания. Матрица спутывания (confusion matrix) используется для описания эффективности модели классификации. Она представляет собой таблицу, строки которой соответствуют заданным (прогнозируемым) классам, столбцы — фактическим значениям (реальным классам). Оценку результатов проводили с использованием следующих метрик:

1) Recall — полнота системы, доля найденных классификатором образцов, принадлежащих классу, относительно всех образцов этого класса в тестовой выборке:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+TN},$$

где TP — верно распознанные объекты класса 1, TN — верно распознанные объекты класса 2.

2) Precision — точность системы в пределах класса, доля образцов, действительно принадлежащих данному классу, относительно всех образцов, которые система отнесла к этому классу:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FN},$$

где TP — верно распознанные объекты класса 1, FN — неверно распознанные как объекты класса 2.

3) F₁-score — F₁-мера, гармоническое среднее между точностью и полнотой. F₁-score стремится к нулю, если точность или полнота стремится к нулю:

$$F_1\text{-score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

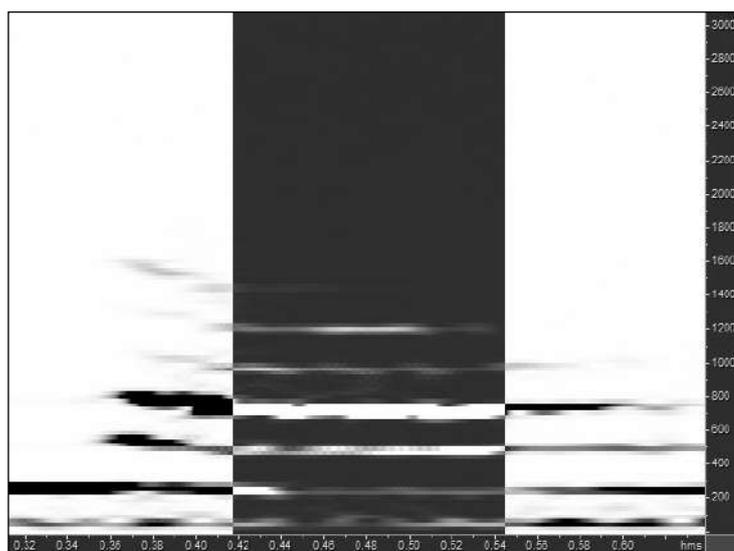
4) UAR — невзвешенная средняя полнота (Unweighted Average Recall) показательна основе средней чувствительности и специфичности (mean of sensitivity and specificity), где (i) описывает количество верно распознанных элементов i -того класса, $N0(i)$ описывает общее количество объектов в i -том классе, N описывает общее количество объектов, а k — количество классов:

$$UAR = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{N_c^{(i)}}{N_0^{(i)}}.$$

2.3.5. Акустический спектрографический анализ

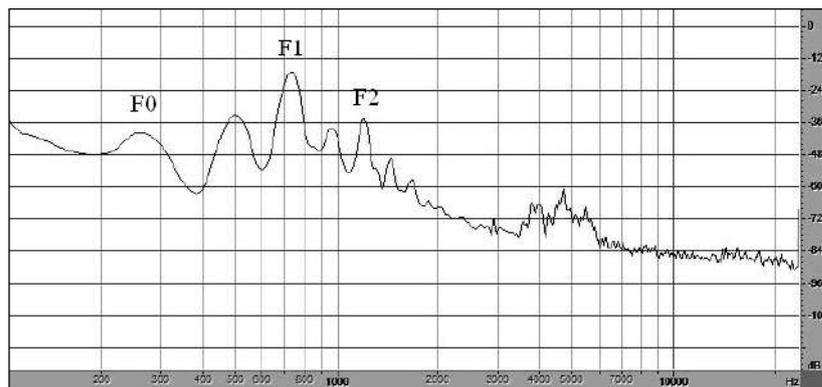
Акустический спектрографический анализ проводили в программе «Cool Edit Pro 2.0». Анализ включал определение длительности слова, длительности ударных и безударных (первого предударного и первого заударного) гласных, определение частоты основного тона (F0) и её интенсивности (E0) для слов и гласных, диапазона ЧОТ (разницы между максимальным (F0 max) и минимальным (F0 min) значением ЧОТ в слове, [F0max – F0min]).

Для гласных определяли стационарный участок (рис. 3, 4), за стационарный участок принимали участок спектрограммы, представленный спектром одного типа, где частоты формант имеют постоянную частоту, артикуляция практически не изменяется (Бондарко, 1998). На стационарном участке определяли значения первых трёх формант (F1, F2, F3) и их интенсивностей (E1, E2, E3). Значения интенсивности формант нормировали по отношению к значению интенсивности ЧОТ (E_n/E_0).



По горизонтальной оси – время, мс; по вертикальной оси – частота, Гц

Рис. 3. Динамическая спектрограмма слова с выделенным стационарным участком ударного гласного /a/ в слове «вокзал»



По горизонтальной оси – частота, Гц; по вертикальной оси –
интенсивность, дБ

Рис. 4. Огибающая спектра ударного гласного /а/ в слове «вокзал»

По значениям первой и второй форманты кардинальных гласных (/а/, /и/, /у/) определяли значения индекса артикуляции гласных (ИАГ, vowel articulation index, VAI) по формуле (Roy et al, 2009; Lyakso et al., 2017):

$$VAI = (F1[a] + F2[i]) / (F1[i] + F1[u] + F2[a] + F2[u]),$$

где $F1[x]$, $F2[x]$ — значение частоты первой и второй форманты соответствующего гласного.

Во фразах определяли длительность фразы, длительность пауз, скорость речи (количество слогов в секунду), выделяли слово, на которое падает смысловое ударение во фразе. Для выделенного слова определяли длительность, длительность ударных и безударных гласных, значение ЧОТ по слову и по гласным, интенсивность, значения F1–F3 и их интенсивностей.

2.3.6. Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили в программном пакете «Statistica 12». Для проверки гипотезы о различиях двух сравниваемых групп использовали непараметрический критерий Манна — Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез (p) принимали равным 0,05.

Для оценки корреляций использовали ранговый критерий Спирмена (при уровне значимости $p < 0,05$), регрессионный и множественный регрессионный анализ.

Для определения согласованности между аудиторами при выполнении заданий перцептивного эксперимента (определение психоневрологического и эмоционального состояния детей) считали каппа-коэффициент Коэна (κ). Согласованность классифицируется как незначительная, когда κ находится в диапазоне находится в

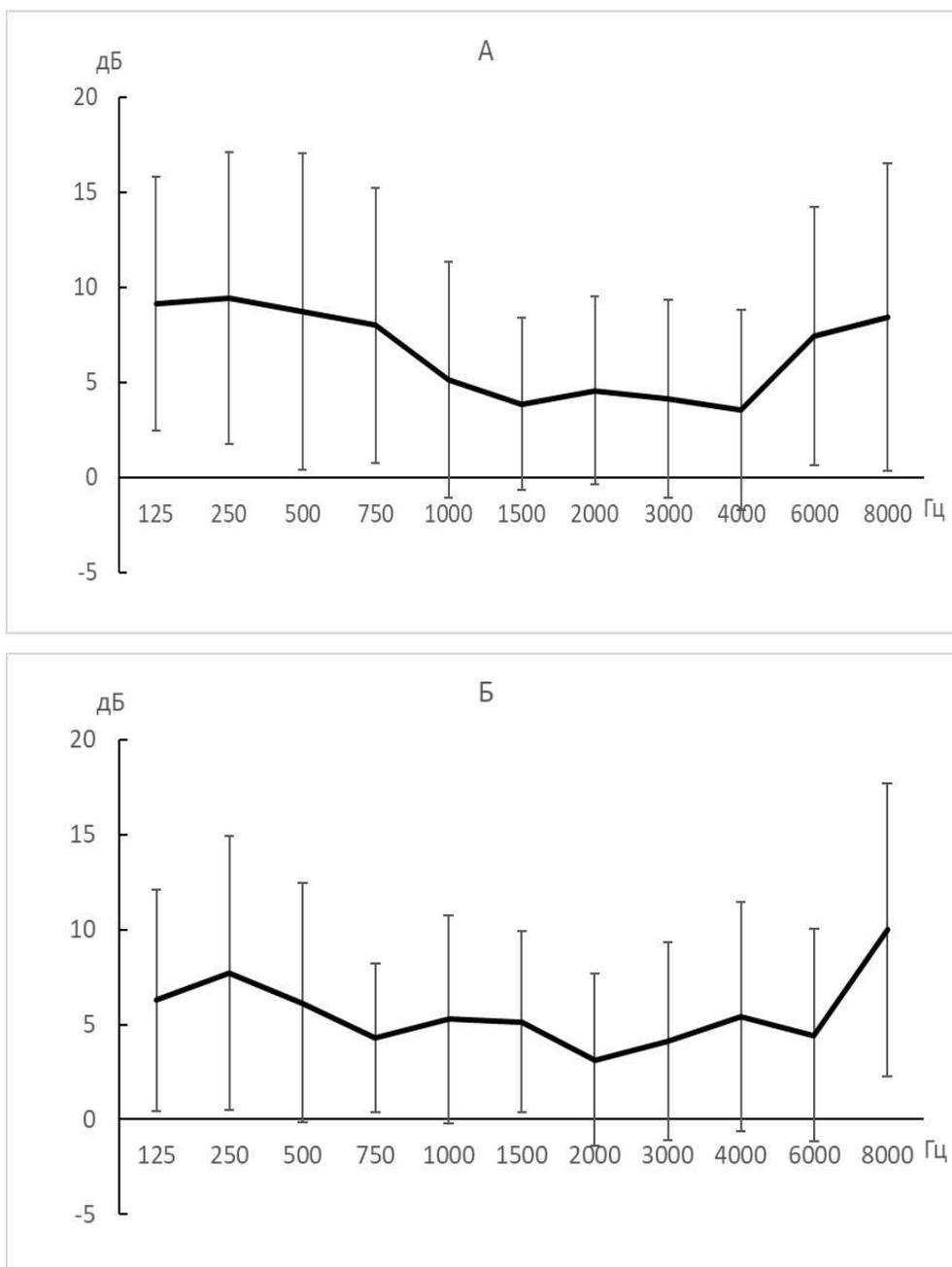
диапазоне 0,00–0,20, слабая — 0,21–0,40, умеренная — 0,41–0,60, существенная — 0,61–0,80, почти полная — 0,81–1,00 (Landis, Koch, 1977; Juremi et al., 2017). Вычисление каппа-коэффициента Коэна выполняли с использованием функции *cohen_kappa_score()* библиотеки *scikit-learn* (библиотеки, предназначенной для машинного обучения, написанной на языке программирования Python).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Физиологические и психофизиологические характеристики аудиторов

3.1.1. Пороги слуха аудиторов

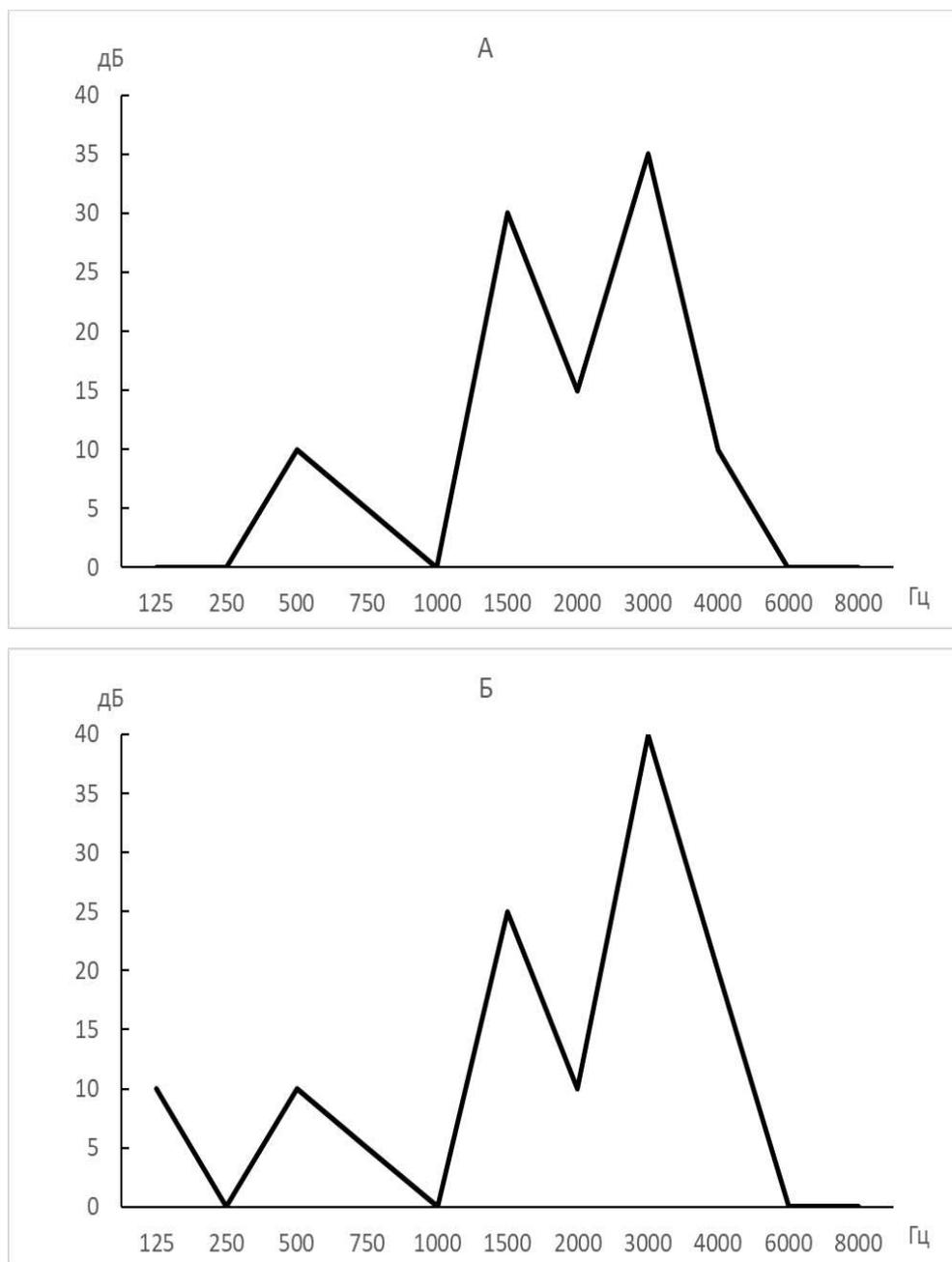
Пороги слуха 89% аудиторов на всех частотах находились в пределах нормы (0–25 дБ): 46% аудиторов имели пороги слуха в диапазоне 0–10 дБ (далее — низкие пороги слуха), 43% аудиторов имели пороги слуха в диапазоне 15–25 дБ (далее — высокие пороги слуха) (рис. 5).



По горизонтальной оси — частота, Гц; по вертикальной оси — уровень интенсивности, дБ

Рис. 5. Усреднённая аудиограмма аудиторов для левого (А) и правого (Б) уха

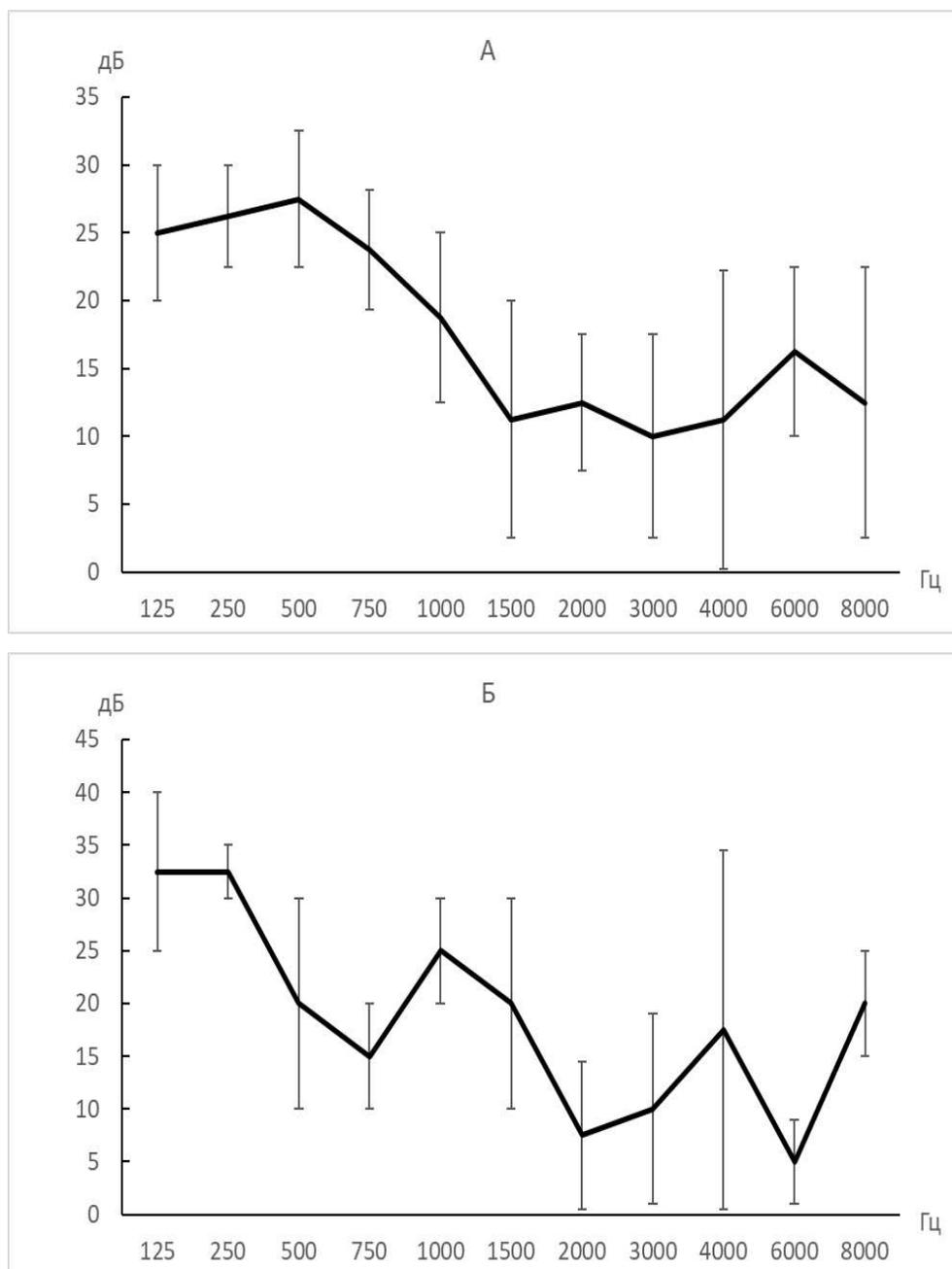
У 11% аудиторов пороги слуха на разных частотах были выше нормы. Например, 1 аудитор (биолог; ж, 24 г.) на обоих ушах имел пороги слуха выше нормы в речевом диапазоне (рис. 6).



По горизонтальной оси — частота, Гц; по вертикальной оси — уровень интенсивности, дБ

Рис. 6. Аудиограмма аудитора с повышенными порогами слуха в речевом диапазоне для левого (А) и правого (Б) уха

У 4 аудиторов (ИТ: 3 м, 21, 22, 23 г.; биолог, ж, 29 л.) пороги слуха левого уха были выше нормы на низких частотах и в речевом диапазоне (125–3000 Гц), у 2 аудиторов (ИТ, 2 м, 22, 23 г.) — пороги слуха правого уха (рис. 7).



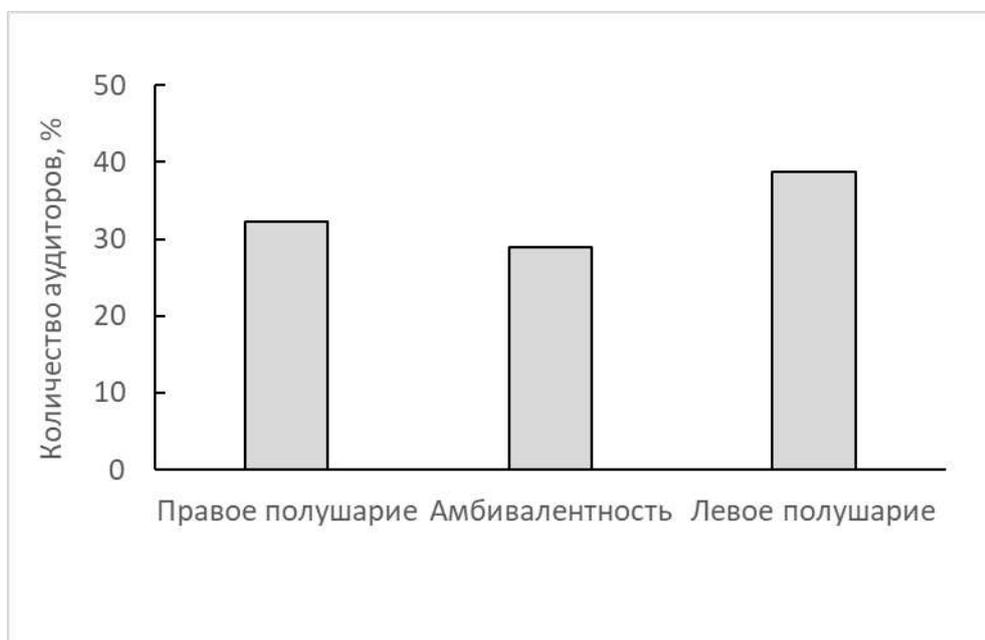
По горизонтальной оси — частота, Гц; по вертикальной оси — уровень интенсивности, дБ

Рис. 7. Усреднённая аудиограмма аудиторов с повышенными порогами слуха на низких частотах и в речевом диапазоне для левого (А) и правого (Б) уха

Пороги слуха студентов-педиатров, ординаторов и врачей-психиатров не измеряли.

3.1.2. Данные дихотического тестирования

По результатам дихотического тестирования 32,3% аудиторов имеют левостороннее предпочтение (преобладание правого полушария), 38,7% — правостороннее предпочтение (преобладание левого полушария); 29% аудиторов не имеют явного предпочтения (амбивалентность) (рис. 8).



По вертикальной оси — количество аудиторов, %, по вертикальной оси — результат дихотического тестирования

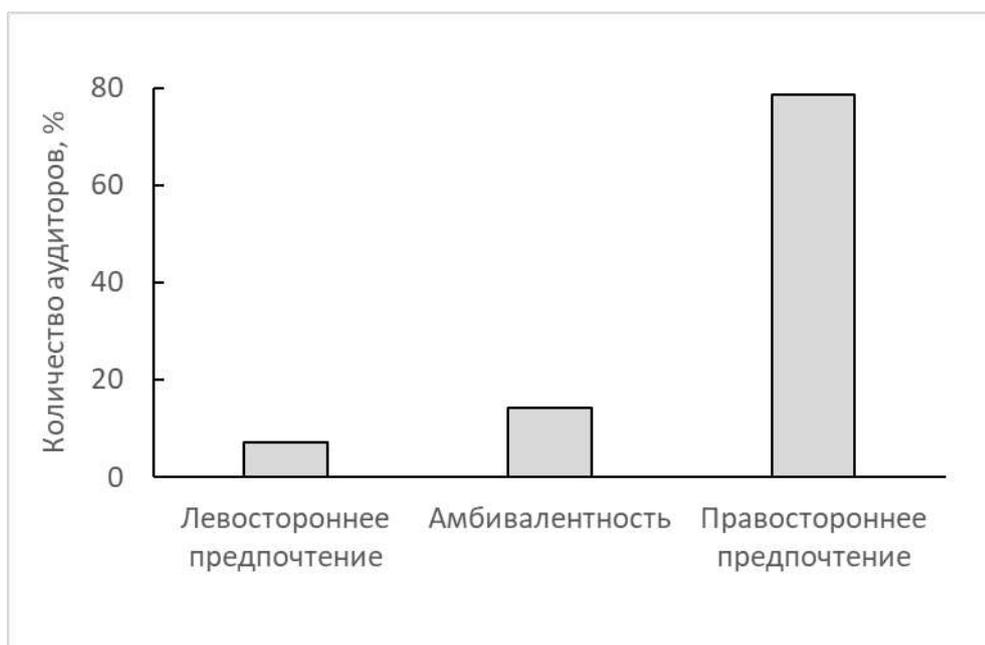
Рис. 8. Определение ведущего полушария по речи (дихотическое тестирование) аудиторов

3.1.3. Проверка фонематического слуха

В ходе проверки фонематического слуха нарушений фонемного восприятия у аудиторов не выявлено.

3.1.4. Профиль функциональной латеральной асимметрии

По результатам определения ПФЛА 7,1% аудиторов имеет левостороннее предпочтение (преобладание правого полушария), 78,6% — правостороннее предпочтение (преобладание левого полушария); 14,3% аудиторов не имеют явного предпочтения (амбивалентность) (рис. 9).



По вертикальной оси — количество аудиторов, %, по горизонтальной оси — результат определения ПФЛА

Рис. 9. Профиль функциональной латеральной асимметрии аудиторов

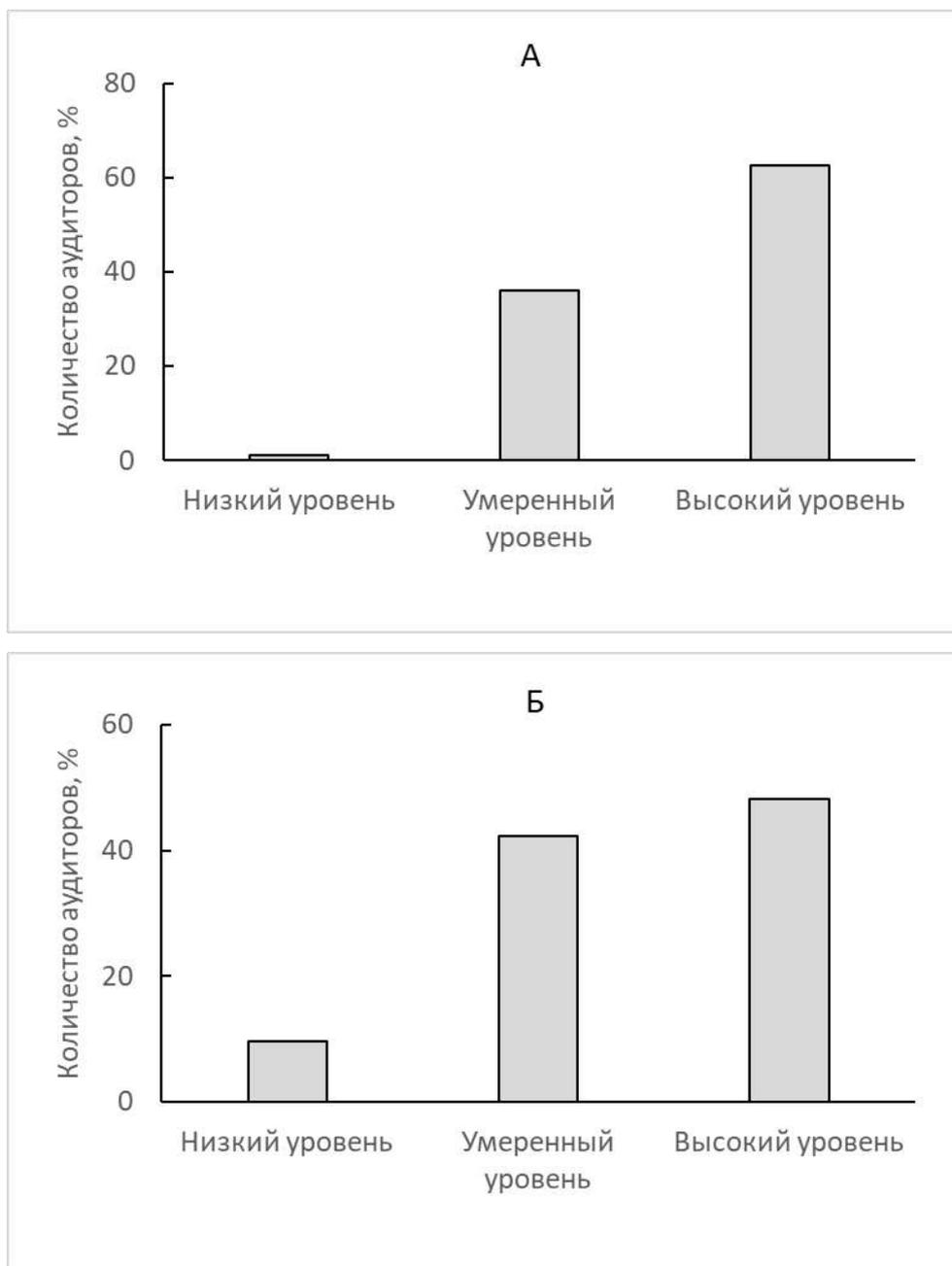
3.1.5. Характеристика электрокардиограммы и частоты сердечных сокращений аудиторов

Средние значения ЧСС аудиторов до прослушивания теста, содержащего эмоциональную речь ТР детей, составили $81 \pm 11,5$ уд/мин; во время прослушивания — $82 \pm 10,1$ уд/мин; после прослушивания — $82,9 \pm 9,8$ уд/мин. Средние значения ЧСС аудиторов перед прослушиванием теста с эмоциональной речью детей с РАС составили $83 \pm 9,7$ уд/мин; во время прослушивания — $83,6 \pm 9,9$ уд/мин; после прослушивания — $83,5 \pm 10,5$ уд/мин, т.е. наблюдается тенденция к увеличению значений ЧСС по мере прослушивания эмоциональной речи детей, что свидетельствует о незначительном изменении активации вегетативной нервной системы слушающего.

Средние значения RR-интервалов аудиторов до прослушивания теста, содержащего эмоциональную речь ТР детей, составили $0,75 \pm 0,11$ с; во время прослушивания — $0,74 \pm 0,09$ с; после прослушивания — $0,74 \pm 0,09$ с. Средние значения RR-интервалов аудиторов перед прослушиванием теста с эмоциональной речью детей с РАС составили $0,74 \pm 0,09$ с; во время прослушивания — $0,75 \pm 0,09$ с; после прослушивания — $0,74 \pm 0,08$ с. Значимых изменений RR-интервалов в результате эксперимента не выявлено.

3.1.6. Уровень тревожности аудиторов

По результатам теста Спилбергера 1,2% аудиторов имеет низкий уровень личностной тревожности, 36,1% аудиторов — умеренный уровень, 62,6% аудиторов — высокий уровень тревожности. Низкий уровень ситуативной тревожности имеет 9,6% аудиторов, 42,2% аудиторов имеет умеренный уровень тревожности, 48,2% аудиторов — высокий уровень ситуативной тревожности (рис. 10).



По вертикальной оси — количество аудиторов, %, по горизонтальной оси —
уровень тревожности

Рис. 10. Уровень личностной (А) и ситуативной (Б) тревожности аудиторов

3.2. Данные лингвистического анализа речи детей

Проведён анализ ответных реплик детей в диалогах с экспериментатором. В речи детей с РАС встречаются слова, фразы, высказывания из нескольких фраз, сложноподчинённые предложения (у детей 12–14 лет — частота встречаемости 0,03) и речеподобные конструкции, значение которых непонятно даже в контексте ситуации (частота встречаемости 0,17 в 5–7 лет; 0,14 в 8–9 лет; 0,23 в 10–11 лет; 0,22 в 12–14 лет). Преобладающий тип ответной реплики у детей с РАС 5–9 лет — одно слово (частота встречаемости 0,39 в возрасте 5–7 лет; 0,34 в возрасте 8–9 лет), у детей с РАС в возрасте 10–14 лет — простая фраза (частота встречаемости 0,24 в 10–11 лет; 0,42 в 12–14 лет).

ТР дети используют в качестве ответов слова, простые фразы, высказывания из нескольких фраз, сложноподчинённые предложения. Преобладающий тип ответной реплики ТР детей всех возрастов — простая фраза (частота встречаемости 0,39 в 5–7 лет; 0,43 в 8–9 лет; 0,49 в 10–11 лет; 0,36 в 12–14 лет) (табл. 4).

Таблица 4. Структура ответных реплик детей с РАС и ТР детей в диалогах со взрослыми

Возраст, л	Группа	Тип реплики						
		слово	пр. фраза	2 пр. фразы	неск. пр. фраз	СПП	ответ да/нет	непон. конструкция
5–7	РАС	0,39	0,26	0,02	0	0	0,17	0,17
	ТР	0,17	0,39	0,13	0,07	0,12	0,13	0
8–9	РАС	0,34	0,21	0,05	0,04	0	0,21	0,14
	ТР	0,11	0,43	0,03	0,03	0,01	0,38	0
10–11	РАС	0,23	0,24	0,07	0,03	0	0,21	0,23
	ТР	0,08	0,49	0,14	0,12	0,09	0,07	0
12–14	РАС	0,26	0,42	0,08	0	0,03	0,02	0,22
	ТР	0,08	0,36	0,16	0,11	0,13	0,16	0

пр. фраза — простая фраза; 2 пр. фразы — 2 простые фразы; неск. пр. фраз — несколько простых фраз; СПП — сложноподчинённое предложение; непон. конструкция — непонятная конструкция

Индекс разнообразия (*I-D*) типов ответных реплик у детей с РАС во всех возрастных группах ниже, чем у ТР детей. Среднее значение индекса разнообразия у детей с РАС составляет 0,686; у ТР детей — 0,765 (табл. 5).

Таблица 5. Индекс разнообразия типов ответных реплик детей с РАС и ТР детей

Возраст, л	Группа	
	РАС	ТР
5–7	0,655	0,779
8–9	0,721	0,732
10–11	0,746	0,758
12–14	0,624	0,792

Анализ частоты встречаемости разных частей речи показал, что в ответных репликах детей с РАС в возрасте 5–11 лет чаще всего встречаются существительные (частота встречаемости 0,23 в 5–7 лет; 0,24 в 8–9 лет; 0,18 в 10–11 лет) и служебные части речи: предлоги, союзы, частицы (частота встречаемости 0,21 в 5–7 лет; 0,29 в 8–9 лет; 0,36 в 10–11 лет). В репликах детей 12–14 лет наиболее часто встречаются существительные (0,3) и глаголы (0,22). В ответных репликах детей с РАС присутствуют непонятные речеподобные конструкции: частота встречаемости 0,22 в 5–7 лет; 0,26 в 8–9 лет; 0,08 в 10–11 лет; 0,09 в 12–14 лет.

В ответных репликах ТР детей всех возрастов преобладают существительные (частота встречаемости 0,29 в 5–7 лет; 0,26 в 8–9 лет; 0,3 в 10–11 лет; 0,18 в 12–14 лет) и служебные части речи (частота встречаемости 0,22 в 5–7 лет; 0,34 в 8–9 лет; 0,17 в 10–11 лет; 0,35 в 12–14 лет) (табл. 6).

Таблица 6. Частота встречаемости разных частей речи в ответных репликах детей в диалогах со взрослыми

Возраст, л	Группа	Часть речи						
		сущ.	гл.	прил.	нар.	мест.	служ. части речи	непон. конструкция
5–7	РАС	0,23	0,13	0,05	0,02	0,14	0,21	0,22
	ТР	0,29	0,18	0,06	0,1	0,11	0,22	0
8–9	РАС	0,24	0,08	0,04	0,01	0,07	0,29	0,26
	ТР	0,26	0,14	0,04	0,07	0,15	0,34	0

<i>Продолжение таблицы 6</i>								
Возраст, л	Группа	Часть речи						
		сущ.	гл.	прил.	нар.	мест.	служ. части речи	непон. конструкция
10–11	РАС	0,18	0,16	0,03	0,04	0,16	0,36	0,08
	ТР	0,3	0,16	0,08	0,13	0,15	0,17	0
12–14	РАС	0,3	0,22	0,12	0,07	0,07	0,13	0,09
	ТР	0,18	0,13	0,05	0,12	0,17	0,35	0

сущ. — существительные; гл. — глаголы; прил. — прилагательные; нар. — наречия; служ. части речи — служебные части речи (предлоги, союзы, частицы); непон. конструкция — непонятная конструкция

Индекс разнообразия частей речи в ответных репликах у детей с РАС во всех возрастных группах ниже, чем у ТР детей. Среднее значение индекса разнообразия у детей с РАС составляет 0,764; у ТР детей — 0,795 (табл. 7).

Таблица 7. Индекс разнообразия частей речи в ответных репликах детей с РАС и ТР детей

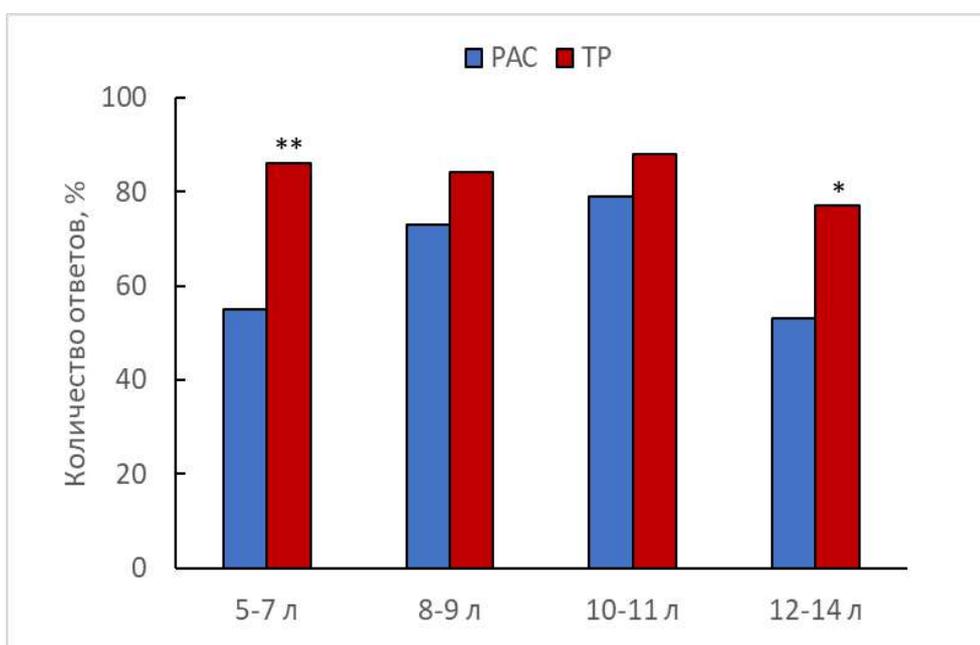
Возраст, л	Группа	
	РАС	ТР
5–7	0,786	0,802
8–9	0,719	0,776
10–11	0,759	0,814
12–14	0,791	0,792

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) у детей с РАС показана связь между баллами по шкале CARS и частотой встречаемости реплик, представленных одним словом ($r = 0,65$) — у детей с более высокими баллами и, соответственно, более тяжёлой степенью проявления аутистического расстройства частота встречаемости реплик из одного слова выше по сравнению с детьми с более низкими баллами.

3.3. Распознавание взрослыми лексического значения слов детей

3.3.1. Данные перцептивного эксперимента

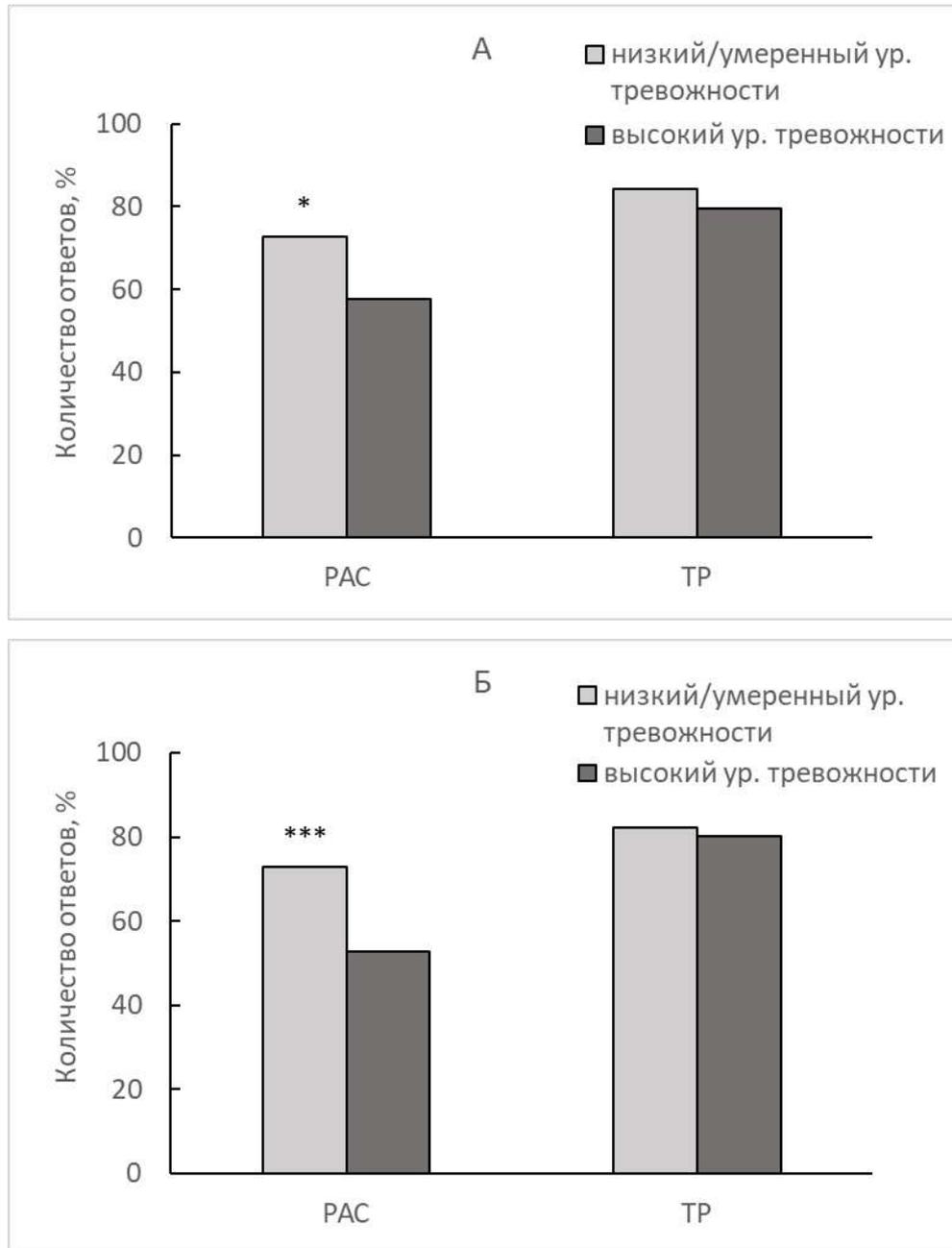
На основании перцептивного анализа установлено, что взрослые правильно распознают значение 55% слов детей с РАС в возрасте 5–7 лет, 73% слов детей в возрасте 8–9 лет, 79% слов детей в возрасте 10–11 лет и 53% слов детей в возрасте 12–14 лет. Взрослые правильно распознают значение 86% слов ТР детей в возрасте 5–7 лет, 84% слов детей в возрасте 8–9 лет, 88% слов детей в возрасте 10–11 лет и 77% слов детей в возрасте 12–14 лет (рис. 11). Значение слов ТР детей 5–7 лет и 12–14 лет аудиторы распознают лучше ($p < 0,01$; $p < 0,05$ — соответственно; U-критерий Манна — Уитни), чем значение слов детей с РАС того же возраста.



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

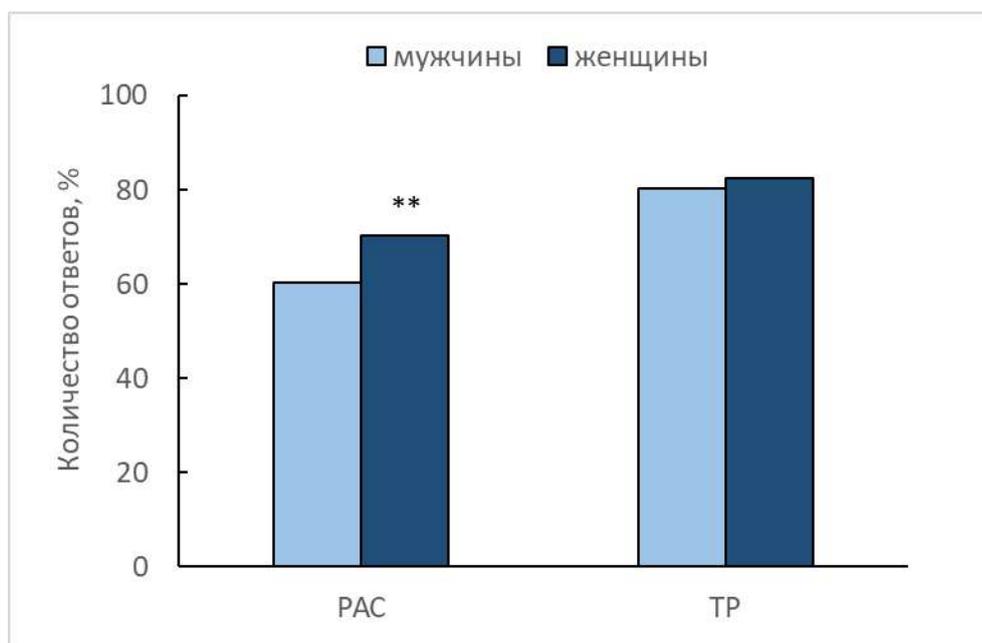
Рис. 11. Распознавание взрослыми лексического значения слов детей с РАС и ТР

Аудиторы женского пола лучше распознают значение слов детей с РАС, чем аудиторы мужского пола ($p < 0,01$), значимых различий в распознавании значения слов ТР детей не выявлено (рис. 13). Не обнаружено различий в распознавании значения слов детей между аудиторами, имеющими бытовой опыт взаимодействия с детьми, и аудиторами, не имеющими такового. Аудиторы с высоким уровнем личностной и ситуативной тревожности хуже распознают значение слов детей с РАС по сравнению с аудиторами с умеренным и низким уровнем тревожности ($p < 0,05$; $p < 0,001$ — соответственно) (рис. 12).



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — группы детей; * — $p < 0,05$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 12. Распознавание значения слов детей аудиторами с различным уровнем личностной (А) и ситуативной (Б) тревожности



По вертикальной оси — количество правильных ответов audиторов, %; по горизонтальной оси — группы детей; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 13. Распознавание значения слов детей аудиторами разного пола

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) показана связь:

1) между порогами слуха аудитора (аудиометрия — правое ухо) и распознаванием значения слов ТР детей (0,21). Аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают значения слов ТР детей по сравнению с аудиторами с высокими порогами слуха;

2) между полом аудитора (женский) и распознаванием значения слов детей с РАС (0,29). Аудиторы женского пола лучше распознают значения слов детей с РАС, чем аудиторы мужского пола. Данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(3,19) = 3,812$ $p < 0,028$ ($R^2 = 0,389$ $\beta = 0,502$);

3) между возрастом аудитора и распознаванием значения слов детей с РАС (0,28). Аудиторы более старшего возраста лучше распознают значение слов детей с РАС, чем аудиторы более младшего возраста.

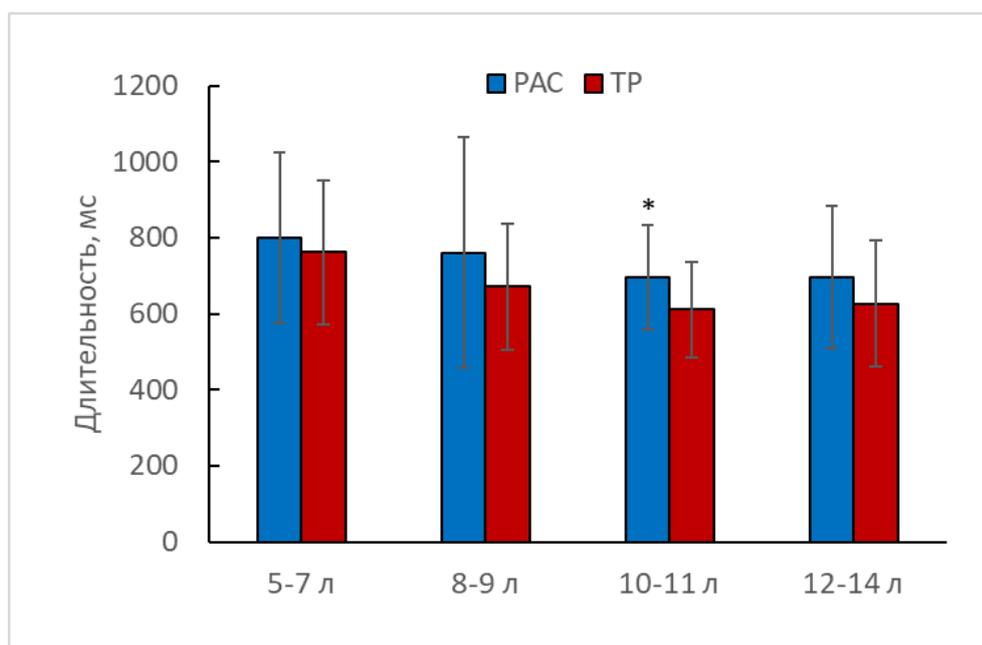
3.3.2. Акустические характеристики тестового материала

3.3.2.1. Длительность слов, ударных и безударных гласных

Значимых различий в длительности слов у детей с РАС в возрасте 5–9 и 12–14 лет по сравнению с ТР детьми не выявлено. В возрасте 10–11 лет длительность слов у детей с РАС выше ($p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни), чем у ТР детей (табл. 8, рис. 14).

Таблица 8. Длительность слов детей с РАС и ТР детей, мс

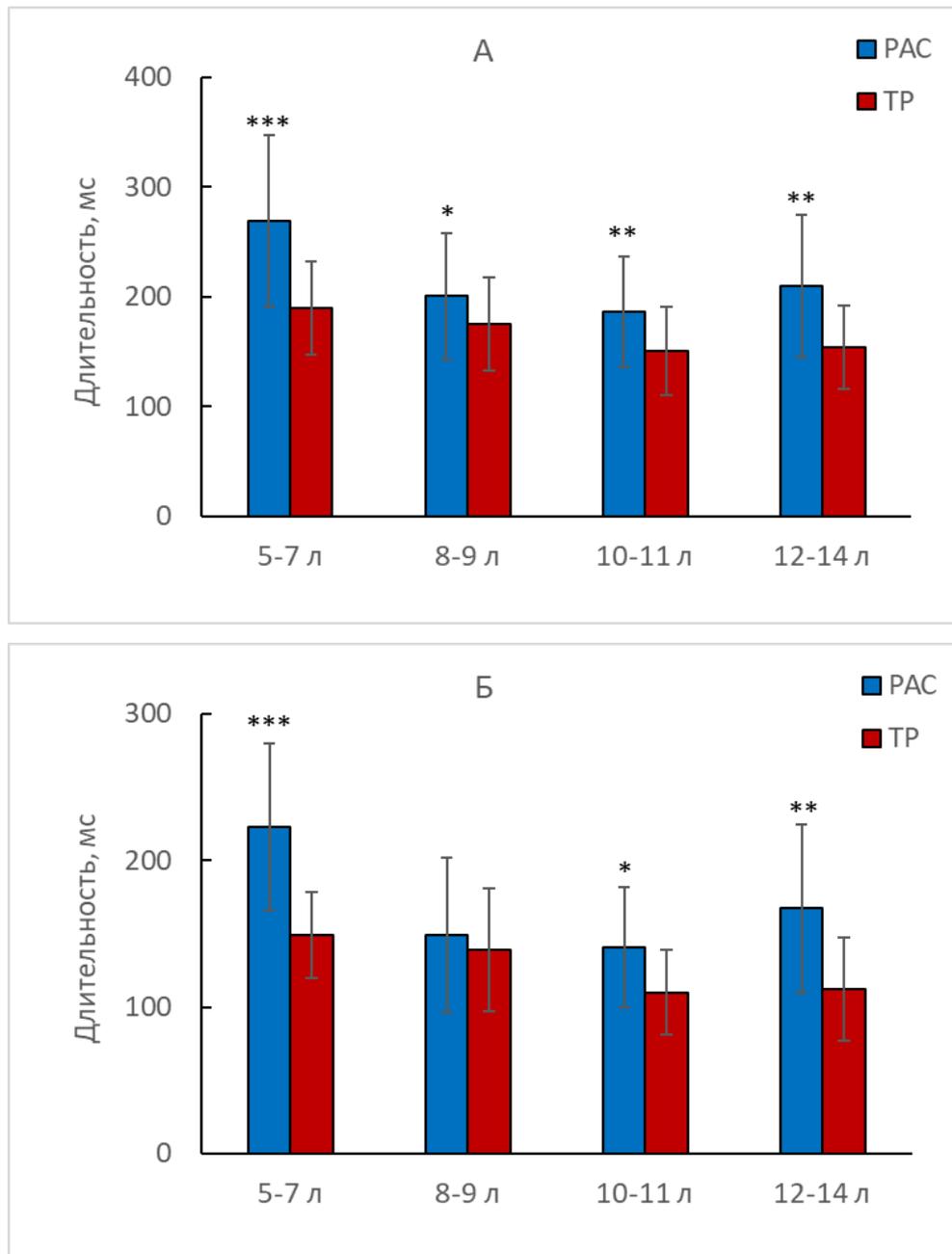
Возраст, л	Группа	
	РАС	ТР
5–7	801,3±224,3 (медиана — 810,5)	761,9±190,5 (768)
8–9	761,1±302,9 (586)	671±167,1 (634)
10–11	696,2±138,9 (667)	611±125,9 (617)
12–14	696,5±188,3 (661,5)	627±165,7 (585)



По вертикальной оси — длительность, мс; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 14. Длительность слов детей с РАС и ТР детей

Длительность ударных гласных во всех возрастных группах у детей с РАС выше (8–9 лет — $p < 0,05$; 10–11, 12–14 лет — $p < 0,01$; 5–7 лет — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни), чем у ТР детей (табл. 9, рис. 15А). В возрасте 5–7 и 10–14 лет длительность безударных гласных у детей с РАС выше (10–11 лет — $p < 0,05$; 12–14 лет — $p < 0,01$; 5–7 лет — $p < 0,001$), чем у ТР детей (табл. 9, рис. 15 Б).



По вертикальной оси — длительность, мс; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна —

Уитни

Рис. 15. Длительность ударных (А) и безударных (Б) гласных из слов детей с PAC и TP детей

Таблица 9. Длительность ударных и безударных гласных из слов детей с РАС и ТР детей, мс

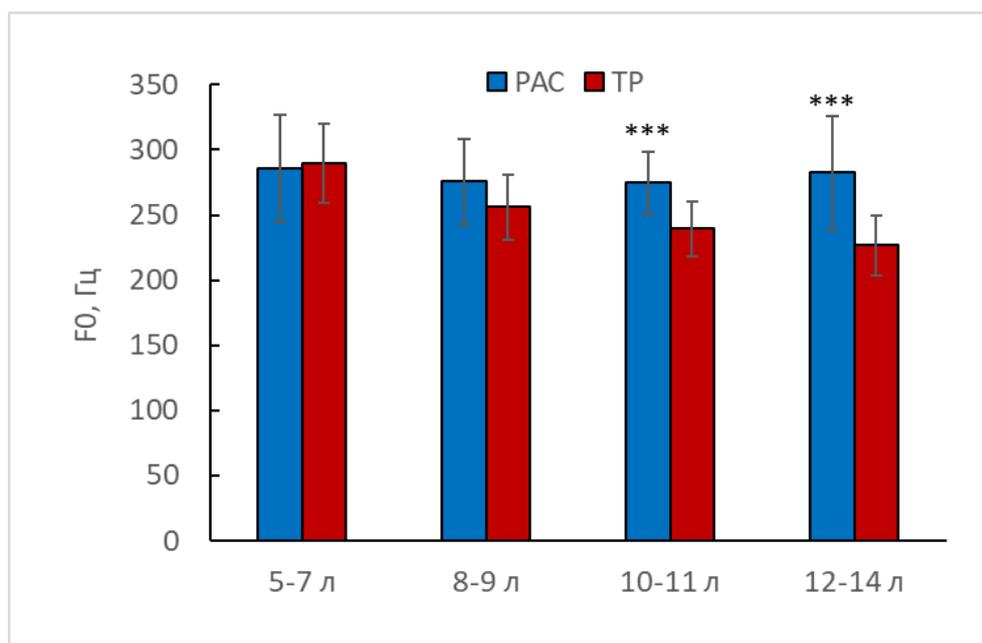
Возраст, л	Группа			
	РАС		ТР	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	268,8±78,6 (медиана — 247,5)	222,9±56,8 (200)	190±42,4 (187,5)	148,9±29,4 (144)
8–9	200,3±57,5 (191)	149,3±52,7 (125)	175,8±42,5 (158,5)	139,1±41,7 (129)
10–11	186,5±50,3 (179,5)	140,7±40,8 (137)	150,6±40,2 (148)	110,1±29 (106)
12–14	209,5±64,7 (194,5)	167,2±57,1 (159)	154,1±37,7 (148)	112,3±35,2 (98)

3.3.2.2. Значения частоты основного тона

Значения ЧОТ у детей с РАС в возрасте 5–9 лет значимо не отличаются от значений ЧОТ ТР детей. В возрасте 10–14 лет значение ЧОТ по слову у детей с РАС выше ($p < 0,001$), чем у ТР детей (табл. 10, рис. 16).

Таблица 10. Значения частоты основного тона слов детей с РАС и ТР детей, Гц

Возраст, л	Группа	
	РАС	ТР
5–7	285,8±40,1 (медиана — 281,2)	289,9±30,2 (291,2)
8–9	275,7±33 (258,3)	256,2±24,8 (234,3)
10–11	274,6±24,4 (281,2)	239,5±20,8 (234,3)
12–14	282,3±43,1 (281,2)	226,8±22,8 (234,3)



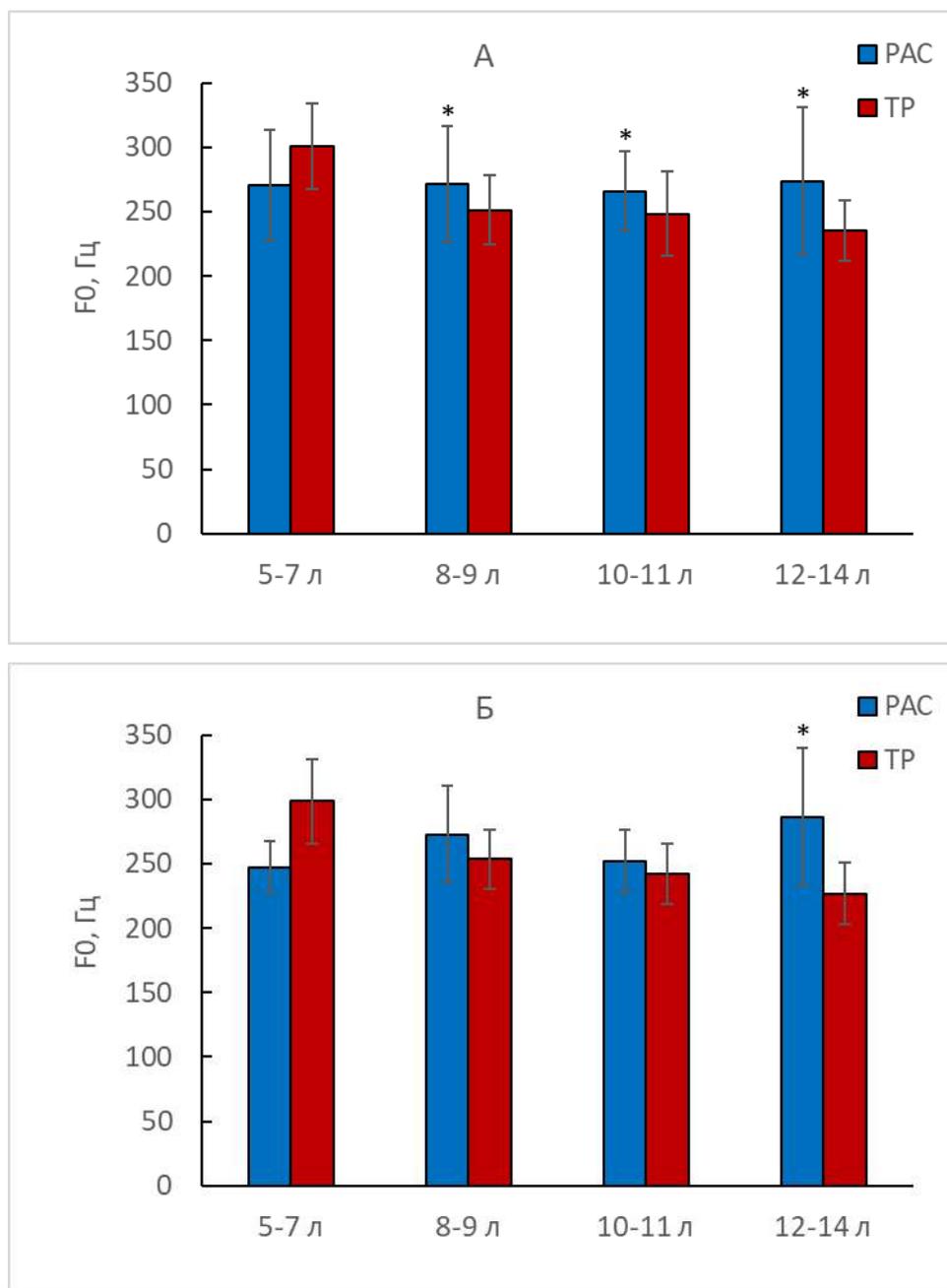
По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 16. Значения частоты основного тона слов детей с РАС и ТР детей

ЧОТ ударных гласных детей с РАС в возрасте 5–7 лет не отличается от значений ЧОТ ТР детей. В возрасте 8–14 лет значения ЧОТ ударных гласных у детей с РАС выше ($p < 0,05$), чем у ТР детей (табл. 11, рис. 17А). Не выявлено значимых различий в значениях ЧОТ безударных гласных у детей с РАС и ТР детей в возрасте 5–11 лет. В возрасте 12–14 лет значения ЧОТ безударных гласных у детей с РАС выше ($p < 0,05$), чем у ТР детей (табл. 11, рис. 17Б).

Таблица 11. Значения частоты основного тона ударных и безударных гласных из слов детей с РАС и ТР детей, Гц

Возраст, л	Группа			
	РАС		ТР	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	270,3±42,9 (медиана — 281,2)	247,3±20,6 (234,2)	300,8±33,4 (301,4)	298,6±33,1 (281,2)
8–9	271,5±44,9 (258,3)	273,8±37,5 (269,8)	251,5±26,9 (234,3)	253,5±22,7 (234,3)
10–11	266±30,9 (281,2)	252,1±24,6 (258,3)	248,3±32,8 (234,3)	241,9±23,4 (234,3)
12–14	273,9±57 (269,8)	286,6±53,1 (269,8)	235,1±23,7 (234,3)	226,7±24,1 (234,3)

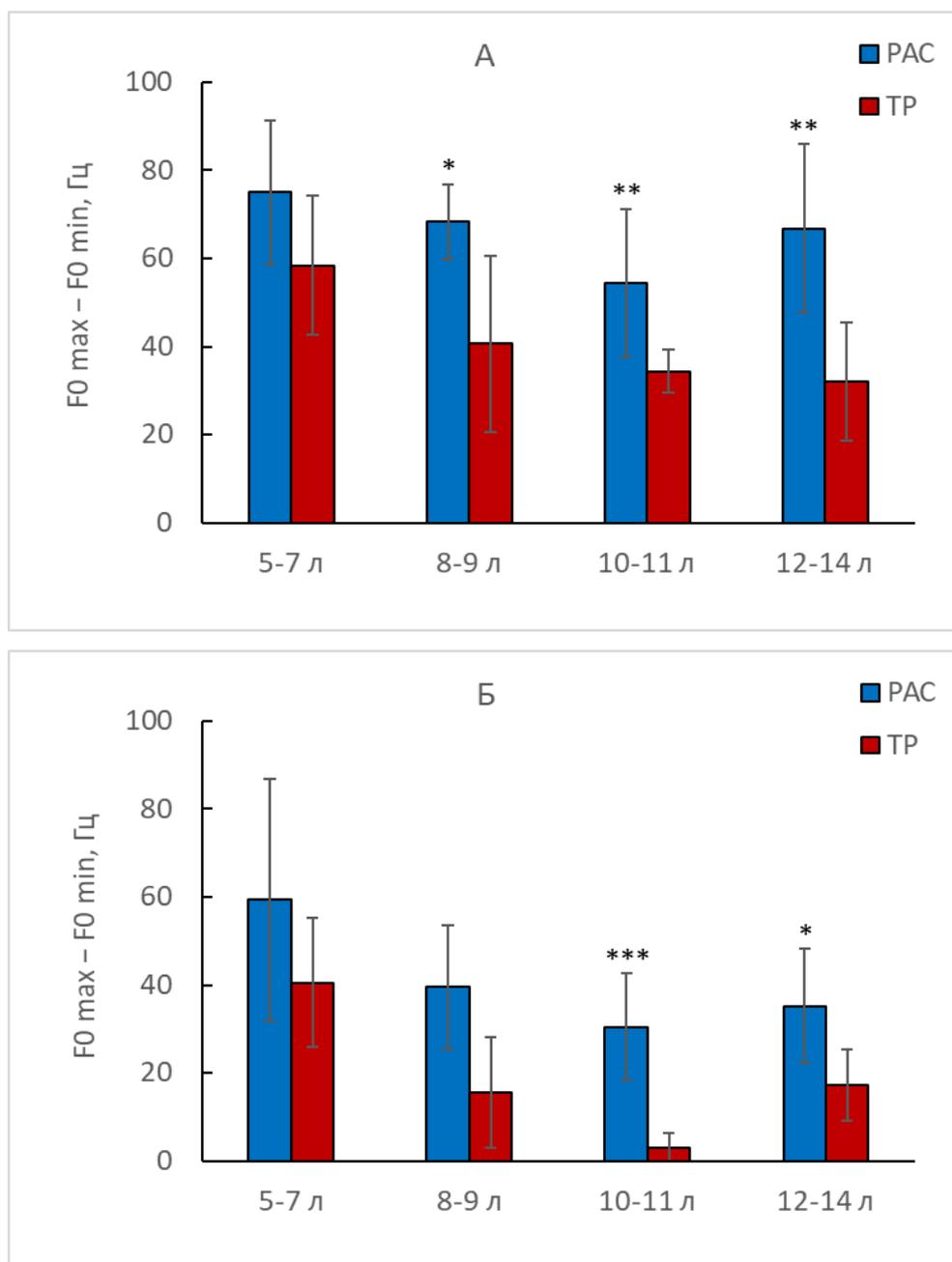


По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 17. Значения частоты основного тона ударных (А) и безударных (Б) гласных из слов детей с PAC и TP детей

У детей с PAC 5–7 лет диапазон ЧОТ по слову не имеет значимых различий по сравнению с диапазоном ЧОТ TP детей. В возрасте 8–9, 10–11 и 12–14 лет диапазон ЧОТ слов у детей с PAC выше, чем у TP детей ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,01$ — соответственно) (табл. 12, рис. 18А). Диапазон ЧОТ ударных гласных значимо не отличается в 5–9 лет у детей с PAC и TP детей. В возрасте 10–11 и 12–14 лет диапазон ЧОТ ударных гласных у

детей с РАС выше, чем у ТР детей ($p < 0,001$; $p < 0,05$ — соответственно) (табл. 12, рис. 18Б).



По вертикальной оси — диапазон частоты основного тона, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 18. Диапазон частоты основного тона слов (А) и ударных гласных из слов (Б) детей с РАС и ТР детей

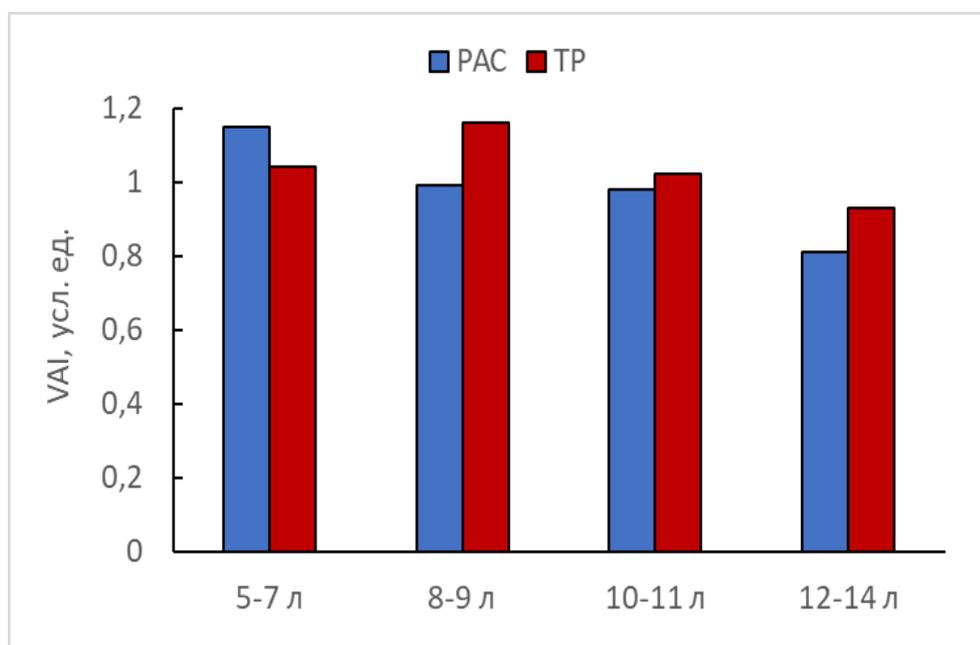
Таблица 12. Диапазон частоты основного тона слов и ударных гласных из слов детей с РАС и ТР детей, Гц

Возраст, л	Группа			
	РАС		ТР	
	слово	ударный гл.	слово	ударный гл.
5–7	75±16,3 (медиана — 78,1)	59,4±27,5 (46,9)	58,4±15,8 (54,4)	40,5±14,7 (46,9)
8–9	68,3±8,5 (62,5)	39,5±14,1 (31,2)	40,6±19,9 (46,8)	15,6±12,5 (15,6)
10–11	54,4±16,9 (46,9)	30,5±12,2 (31,3)	34,4±4,9 (32,3)	3,1±4,9 (0)
12–14	66,8±19,2 (58,7)	35,2±13 (30)	32±13,4 (31,3)	17,2±8,1 (15,6)

3.3.2.3. Значения индекса артикуляции гласных

Средние значения индекса артикуляции (VAI) ударных гласных в возрасте 5–7 лет выше у детей с РАС по сравнению с ТР детьми. В возрасте 8–14 лет значения VAI выше у ТР детей.

VAI ударных гласных в 5–7 лет составляет 1,15 у детей с РАС, 1,04 у ТР детей; в 8–9 лет: 0,99 у детей с РАС, 1,16 у ТР детей; в 10–11 лет: 0,98 у детей с РАС, 1,02 у ТР детей; в 12–14 лет: 0,81 у детей с РАС; 0,93 у ТР детей (рис. 19).



По вертикальной оси — значения индекса артикуляции гласных, усл. ед.; по горизонтальной оси — возраст детей, лет

Рис. 19. Значения индекса артикуляции ударных гласных у детей с РАС и ТР детей

Таким образом, слова детей с РАС характеризуются большими по сравнению со словами ТР детей значениями длительности ударных и безударных гласных, большими значениями ЧОТ ударных гласных и более широким диапазоном ЧОТ. В возрасте 8–14 лет значения индекса артикуляции гласных у детей с РАС ниже, чем у ТР детей, однако в возрасте 5–7 лет индексы артикуляции гласных у детей с РАС выше по сравнению с ТР детьми.

3.3.2.4. Связь между распознаванием аудиторами значения слов детей и акустическими характеристиками тестового материала

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) показаны связи между распознаванием аудиторами лексического значения слов детей с РАС и ТР детей и значениями ЧОТ по слову ($r = -0,18$), по ударному гласному ($-0,21$), диапазоном ЧОТ по слову ($-0,21$). Показана связь между распознаванием лексического значения слов детей с РАС и ТР детей длительностью ударного гласного ($-0,18$) — данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(5,144) = 3,935$ $p < 0,002$ ($R^2 = 0,089$ $\beta = -0,234$).

Аудиторы хуже распознают значение слов с высокими значениями ЧОТ по слову, ударному гласному, высокими значениями диапазона ЧОТ по слову, высокими значениями длительности ударного гласного по сравнению со словами с более низкими значениями.

На основании данных множественного регрессионного анализа показана связь между распознаванием аудиторами значения слов детей и максимальными значениями ЧОТ по ударному гласному: $F(5,144) = 3,935$ $p < 0,002$ ($R^2 = 0,089$ $\beta = -0,779$) — аудиторы хуже распознают значение слов с высокими показателями максимального значения ЧОТ по ударному гласному.

3.4. Распознавание взрослыми психоневрологического состояния детей

3.4.1. Данные перцептивного эксперимента

При выполнении задания на определение психоневрологического состояния детей аудиторы прослушивали тесты, содержащие слова детей, и тесты, содержащие фразы детей.

При прослушивании тестов, содержащих слова детей в возрасте 5–7 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 54% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 78% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания (UAR) составила 0,66 (табл. 13).

Таблица 13. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 5–7 лет (слова), % правильных ответов audиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	54	46
ТР	22	78
Recall	0,54	0,78
Precision	0,71	0,63
F ₁ -score	0,61	0,7
UAR	0,66	

В тестах, содержащих слова детей в возрасте 8–9 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 37% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 87% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,62 (табл. 14).

Таблица 14. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 8–9 лет (слова), % правильных ответов audиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	37	63
ТР	13	87
Recall	0,37	0,87
Precision	0,74	0,58
F ₁ -score	0,49	0,7
UAR	0,62	

В тестах, содержащих слова детей в возрасте 10–11 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 40% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 86% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,63 (табл. 15).

Таблица 15. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 10–11 лет (слова), % правильных ответов аудиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	40	60
ТР	14	86
Recall	0,4	0,86
Precision	0,74	0,59
F ₁ -score	0,51	0,7
UAR	0,63	

В тестах, содержащих слова детей в возрасте 12–14 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 56% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 73% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,65 (табл. 16).

Таблица 16. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 12–14 лет (слова), % правильных ответов аудиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	56	44
ТР	27	73
Recall	0,56	0,73
Precision	0,67	0,62
F ₁ -score	0,61	0,67
UAR	0,65	

При прослушивании тестов, содержащих фразы детей в возрасте 5–7 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 73% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 90% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,82 (табл. 17).

Таблица 17. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 5–7 лет (фразы), % правильных ответов аудиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	73	27
ТР	10	90
Recall	0,73	0,9
Precision	0,88	0,77
F ₁ -score	0,8	0,83
UAR	0,82	

В тестах, содержащих фразы детей в возрасте 8–9 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 52% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 91% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,72 (табл. 18).

Таблица 18. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 8–9 лет (фразы), % правильных ответов аудиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	52	48
ТР	9	91
Recall	0,52	0,91
Precision	0,85	0,65
F ₁ -score	0,65	0,76
UAR	0,72	

В тестах, содержащих фразы детей в возрасте 10–11 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 63% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 97% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,8 (табл. 19).

Таблица 19. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 10–11 лет (фразы), % правильных ответов аудиторов

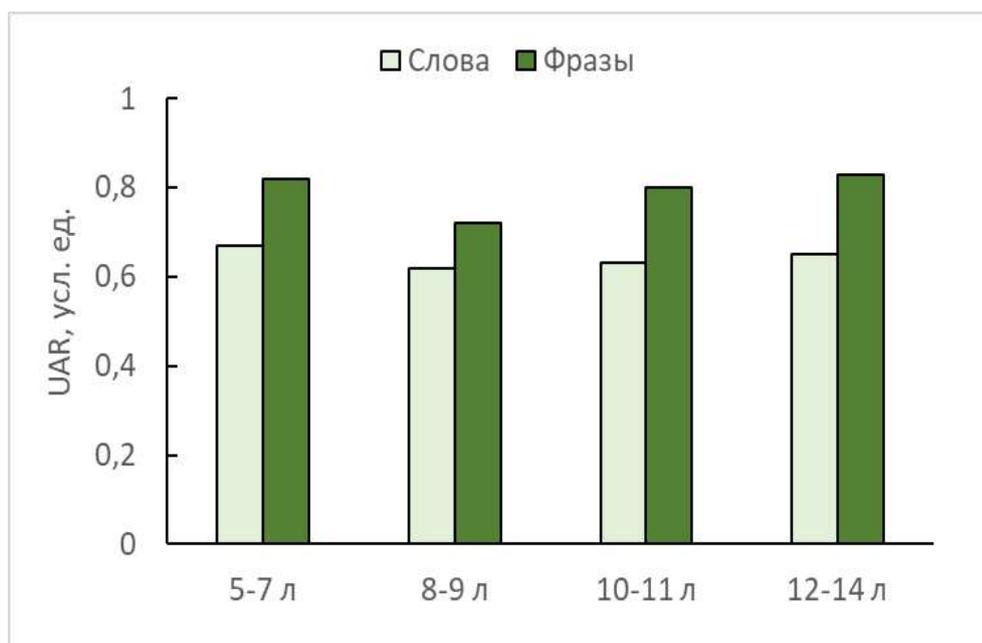
Группа	РАС	ТР
РАС	63	27
ТР	3	97
Recall	0,63	0,97
Precision	0,95	0,78
F ₁ -score	0,76	0,87
UAR	0,8	

В тестах, содержащих фразы детей в возрасте 12–14 лет, к категории «атипичное развитие» аудиторы отнесли 73% сигналов детей с РАС, к категории «типичное развитие» аудиторы отнесли 93% сигналов ТР детей. Средняя полнота распознавания составила 0,83 (табл. 20).

Таблица 20. Матрица спутывания — распознавание психоневрологического состояния детей 12–14 лет (фразы), % правильных ответов аудиторов

Группа	РАС	ТР
РАС	73	27
ТР	7	93
Recall	0,73	0,93
Precision	0,91	0,78
F ₁ -score	0,81	0,85
UAR	0,83	

Аудиторы лучше распознают психоневрологическое состояние детей в тестах, содержащих фразы, чем в тестах, содержащих слова детей: средняя полнота для тестов, содержащих слова детей, — 0,64; средняя полнота для тестов, содержащих фразы детей, — 0,79. Значения средней полноты были максимальными в тестах на определение состояния детей в возрасте 5–7 (0,67 — слова; 0,82 — фразы) и 12–14 лет (0,65 — слова; 0,83 — фразы). Минимальные значения средней полноты были в тестах на определение состояния детей 8–9 лет: 0,62 — слова; 0,72 — фразы (рис. 20).



По вертикальной оси — значения средней полноты (UAR), усл. ед.; по горизонтальной оси — возраст детей, лет

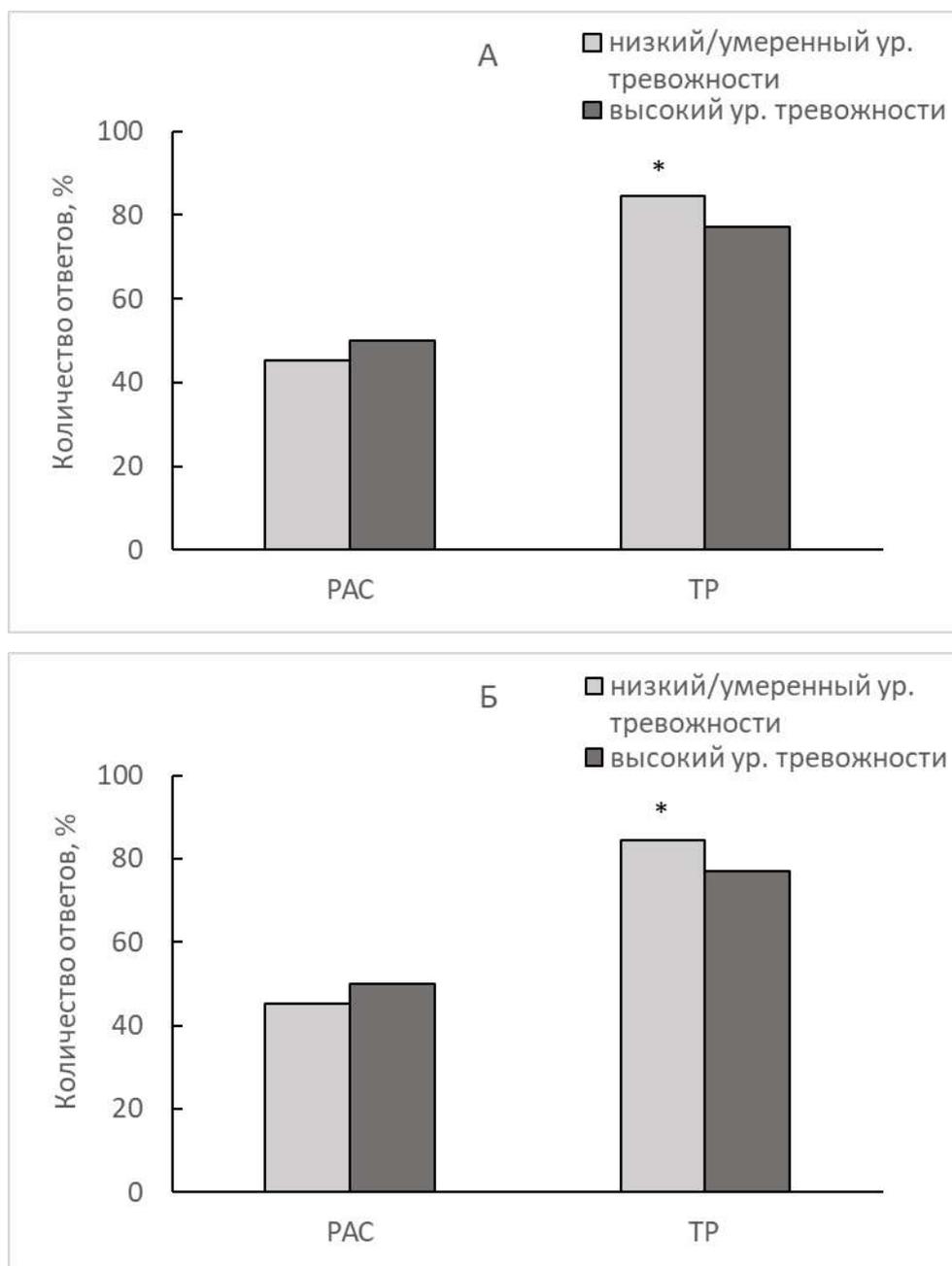
Рис. 20. Средняя полнота распознавания психоневрологического состояния детей аудиторами

При распознавании психоневрологического состояния по тестам, содержащим слова, аудиторы демонстрировали слабую согласованность (среднее значение κ — 0,358). По тестам, содержащим фразы детей, согласованность аудиторов была умеренной (среднее значение κ — 0,511) (табл. 21).

Таблица 21. Согласованность аудиторов при распознавании психоневрологического состояния детей

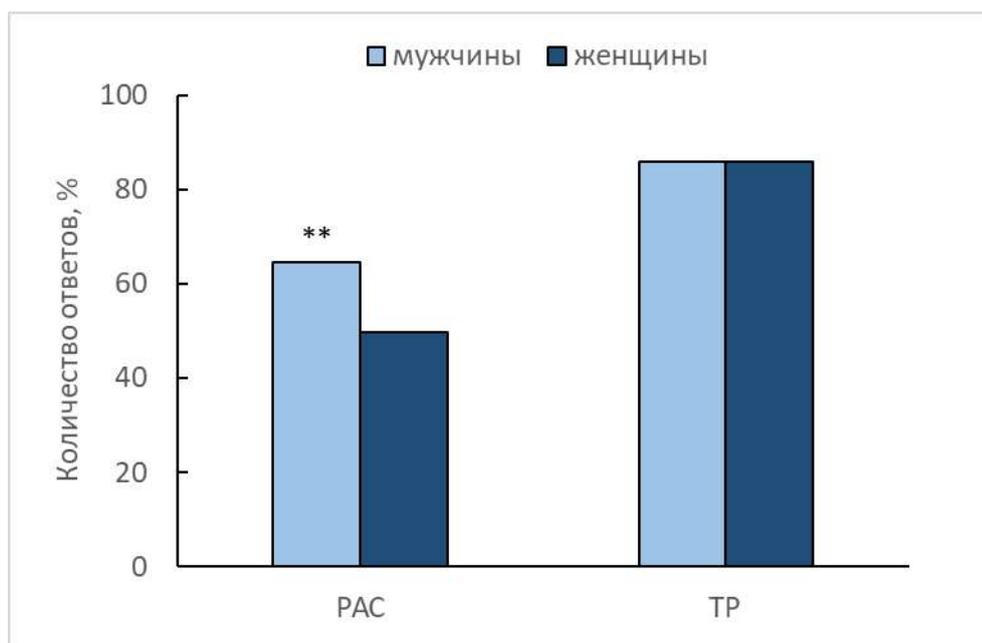
Тестовый материал	Возраст детей, л	κ
Слова	5–7	0,340
	8–9	0,419
	10–11	0,347
	12–14	0,327
Фразы	5–7	0,426
	8–9	0,562
	10–11	0,538
	12–14	0,519

Аудиторы мужского пола лучше распознают состояние детей с РАС, чем аудиторы женского пола ($p < 0,01$), значимых различий в распознавании состояния ТР детей не выявлено (рис. 22). Аудиторы с высоким уровнем личностной и ситуативной тревожности хуже распознают состояние ТР детей по сравнению с аудиторами с низким и умеренным уровнем тревожности ($p < 0,05$) (рис. 21).



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — группы детей; * — $p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 21. Распознавание состояния детей аудиторами с различным уровнем личностной (А) и ситуативной (Б) тревожности



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — группы детей; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 22. Распознавание психоневрологического состояния детей аудиторами разного пола

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) показана связь между распознаванием состояния детей с PAC и:

1) показателями дихотического тестирования (левое полушарие) (0,38) — аудиторы с ведущим левым полушарием по речи лучше распознают состояние детей с PAC, чем аудиторы с ведущим правым полушарием. Данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(5, 83) = 5,242$ $p < 0,0003$ ($R^2 = 0,239$ $\beta = 0,39$);

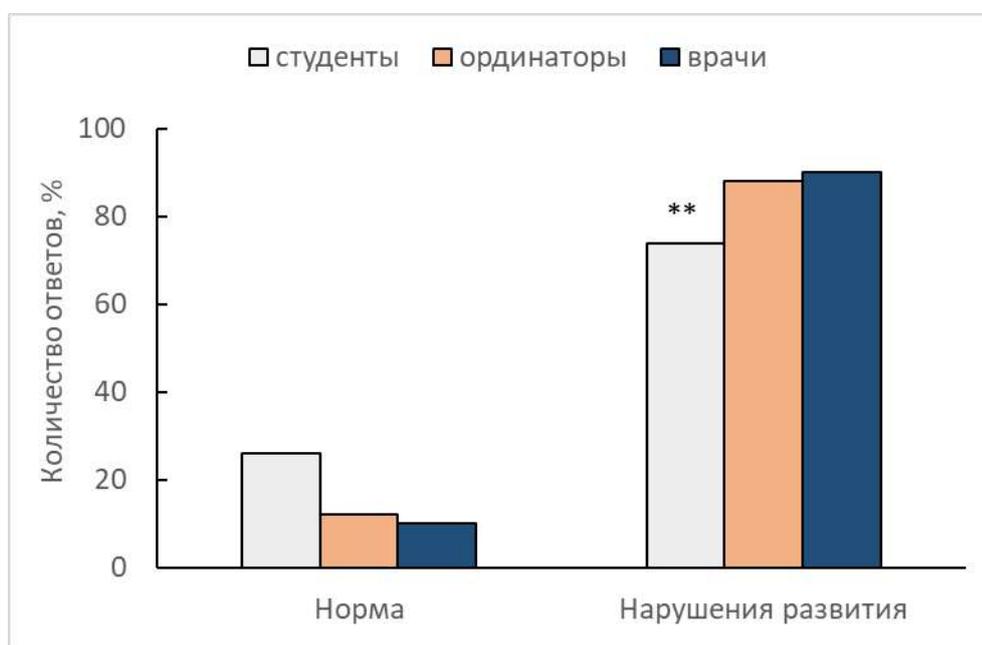
2) полом аудитора (женский) (-0,33) — аудиторы женского пола хуже распознают состояние детей с PAC, чем аудиторы мужского пола. Данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(5, 83) = 7,031$ $p < 0,0002$ ($R^2 = 0,298$ $\beta = -0,312$);

3) уровнем личностной тревожности (-0,26) — аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают состояние детей с PAC по сравнению с аудиторами с низким и умеренным уровнем тревожности.

На основании данных множественного регрессионного анализа показана связь между распознаванием состояния детей с PAC и показателями аудиометрии (левое ухо): $F(5, 83) = 5,2416$ $p < 0,0003$ ($R^2 = 0,239$ $\beta = 0,274$) — аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают состояние детей с PAC по сравнению с аудиторами с высокими порогами слуха.

Выявлена корреляция между распознаванием психоневрологического состояния ребёнка и баллами по шкале CARS (0,37).

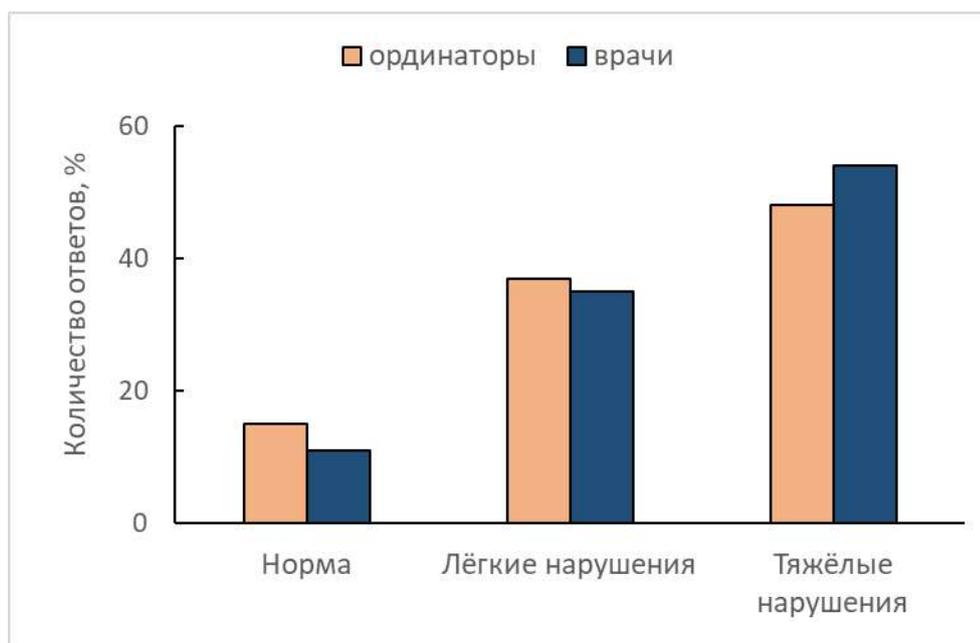
В дополнительном эксперименте тест, содержащий 30 фраз детей с РАС в возрасте 10–14 лет, прослушивали студенты 1 курса СПбГМПУ ($n = 19$), ординаторы-психиатры ($n = 14$) и врачи-психиатры ($n = 5$). Аудиторам предлагалось определить психоневрологическое состояние детей по категориям: норма — нарушения развития. К категории «атипичное развитие» студенты отнесли меньшее ($p < 0,05$) количество сигналов детей с РАС, чем ординаторы и врачи (74%, 88%, 90% ответов соответственно) (рис. 23).



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — варианты ответа; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 23. Определение студентами, ординаторами и врачами психоневрологического состояния детей с РАС: норма — нарушения развития

Для ординаторов и врачей задание включало определение состояния детей по трём категориям: норма — лёгкие нарушения — тяжёлые нарушения. К категории «лёгкие нарушения» ординаторы отнесли 37% сигналов детей с РАС, к категории «тяжёлые нарушения» — 48% сигналов. Врачи к категории «лёгкие нарушения» отнесли 35% сигналов детей с РАС, к категории «тяжёлые нарушения» — 54% сигналов (рис. 24). Различий в определении состояния детей с РАС между ординаторами и врачами не выявлено.



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — варианты ответа

Рис. 24. Определение ординаторами и врачами психоневрологического состояния детей с РАС: норма — лёгкие нарушения — тяжёлые нарушения

3.4.2. Акустические характеристики тестового материала (слова)

3.4.2.1. Длительность слов, ударных и безударных гласных

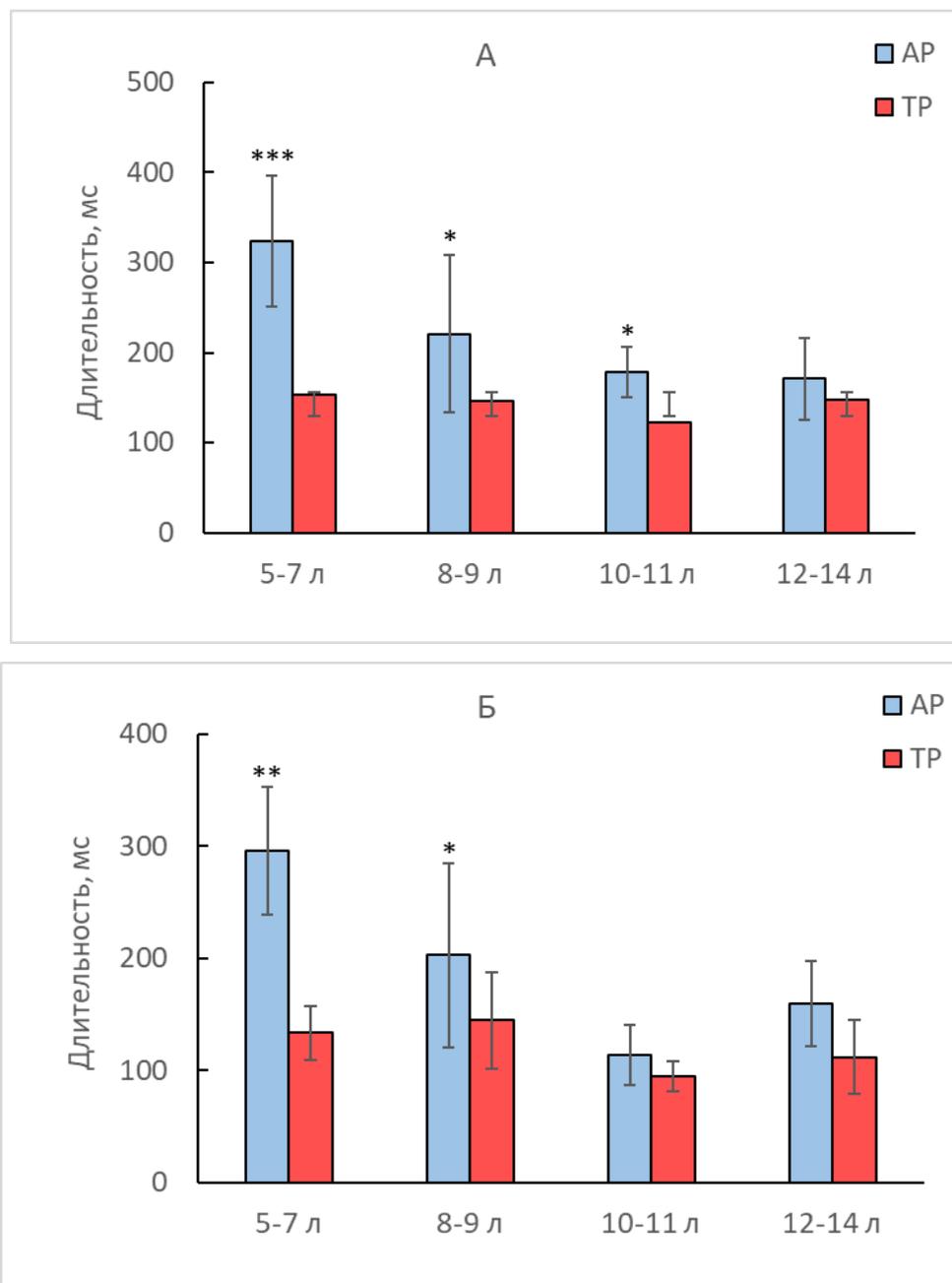
Слова, отнесённые аудиторами к категориям «типичное развитие» и «атипичное развитие» (вероятность распознавания — 0,75–1,0), не различаются по длительности, что, по-видимому, связано с высокой вариативностью длительности внутри групп (табл. 22).

Таблица 22. Длительность слов, отнесённых аудиторами к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторами к категории «типичное развитие», мс

Возраст, л	Группа	
	атипичное развитие	типичное развитие
5–7	937,9±222,5 (медиана — 952)	926,3±169,9 (898)
8–9	1322,5±999,8 (725,5)	667,8±185,1 (650)
10–11	769,8±237 (591)	628,5±135,8 (630,5)
12–14	599,7±113 (575)	774,8±116 (781)

Ударные гласные из слов детей 5–7, 8–9, и 10–11 лет, отнесённых к категории «атипичное развитие», имеют большую длительность ($p < 0,001$; $p < 0,05$; $p < 0,05$ — соответственно) по сравнению с гласными из слов, отнесённых к категории «типичное

развитие» (табл. 23, рис. 25А). Ударные гласные из слов детей 12–14 лет значимо не различаются. Безударные гласные из слов детей 5–7 и 8–9 лет, отнесённых к категории «атипичное развитие», имеют большую длительность ($p < 0,01$; $p < 0,05$ — соответственно) по сравнению с гласными из слов, отнесённых к категории «типичное развитие» (табл. 23, рис. 25Б). Безударные гласные из слов детей 10–14 лет не имеют значимых различий между группами.



По вертикальной оси — длительность, мс; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 25. Длительность ударных (А) и безударных (Б) гласных из слов, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

Таблица 23. Длительность ударных и безударных гласных из слов, отнесённых аудиторам к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторам к категории «типичное развитие», мс

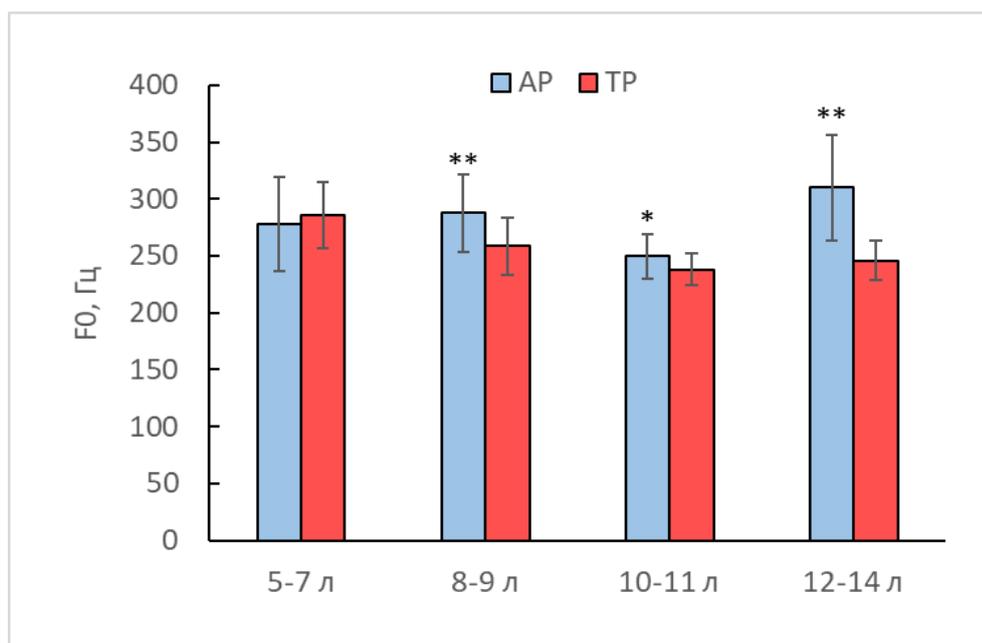
Возраст, л	Группа			
	атипичное развитие		типичное развитие	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	323,7±72,5 (медиана — 302)	295,7±58,9 (255)	153,8±36,2 (176)	133,5±24,1 (132,5)
8–9	220,8±87,8 (198)	202,7±82,5 (202,5)	146,1±20,9 (146)	144,5±43,1 (128,5)
10–11	178,6±27,9 (167)	113,4±26,9 (112)	122,7±30 (120,5)	95±13,3 (97,5)
12–14	170,8±45,1 (189)	159,8±38,2 (151)	148,3±23,8 (149)	111,6±33,1 (111)

3.4.2.2. Значения частоты основного тона слов, ударных и безударных гласных

У детей 5–7 лет не выявлено значимых различий в значениях ЧОТ по слову. В словах, отнесённых к категории «атипичное развитие», у детей 8–9, 10–11 и 12–14 лет значения ЧОТ выше ($p < 0,01$; $p < 0,05$; $p < 0,01$ — соответственно) по сравнению со словами, отнесёнными к категории «типичное развитие» (табл. 24, рис. 26).

Таблица 24. Значения частоты основного тона слов, отнесённых аудиторам к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторам к категории «типичное развитие», Гц

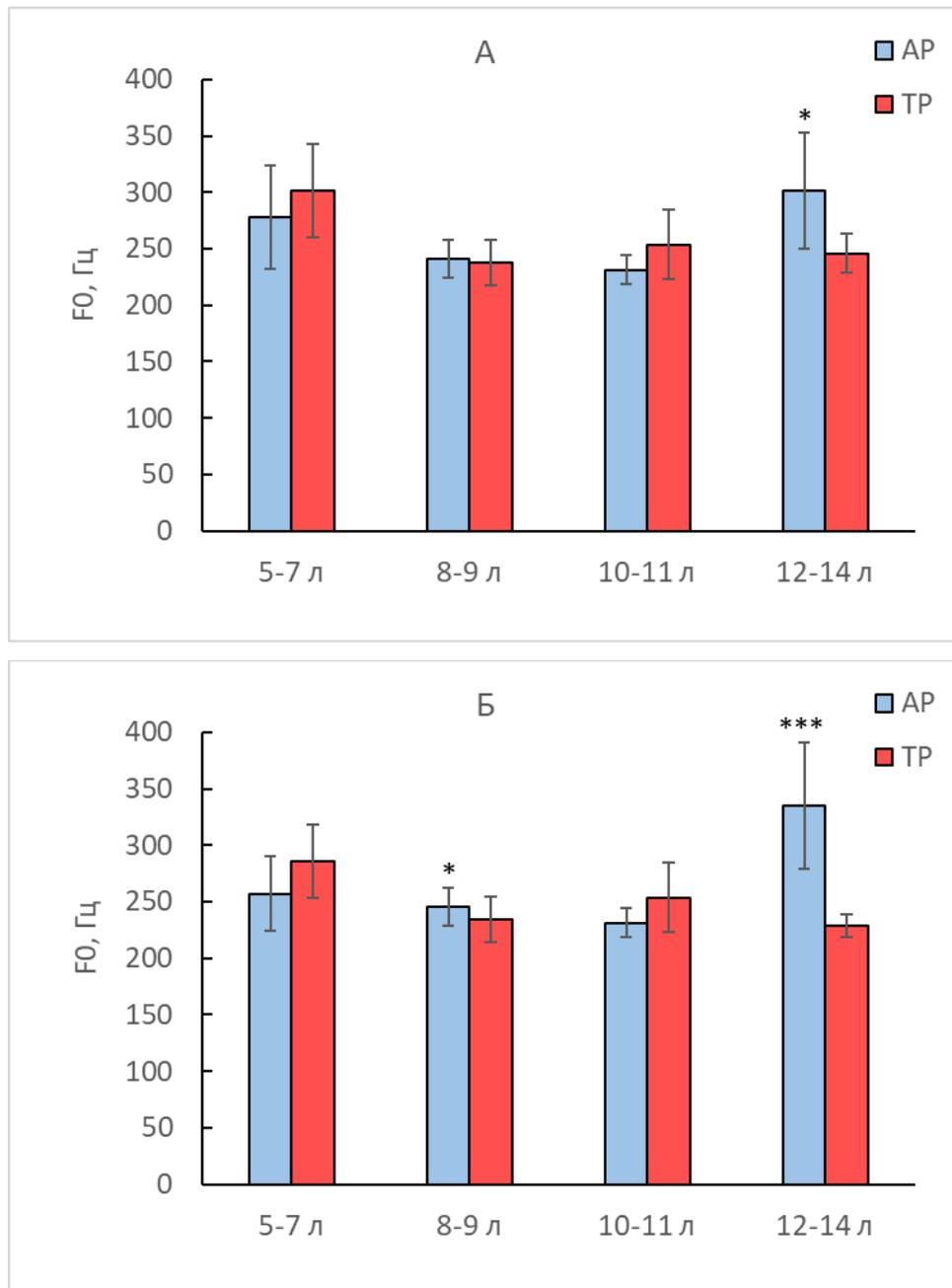
Возраст, л	Группа	
	атипичное развитие	типичное развитие
5–7	277,8±41,2 (медиана — 281,2)	285±29,1 (281,2)
8–9	287,5±34,3 (281,2)	258,7±25,4 (234,3)
10–11	249,5±19,7 (258,3)	238,2±14,3 (234,3)
12–14	309,9±46,6 (301, 4)	246±17,6 (234,3)



По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 26. Значения частоты основного тона слов, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

Слова детей 5–11 лет, отнесённые к категориям «типичное» и «атипичное развитие», не различаются по значениям ЧОТ ударных гласных. В словах, отнесённых к категории «атипичное развитие», у детей 12–14 лет значения ЧОТ ударных гласных выше ($p < 0,05$) по сравнению со словами, отнесёнными к категории «типичное развитие» (табл. 25, рис. 27А). Безударные гласные из слов детей 5–7 и 10–11 лет не имеют значимых различий в значениях ЧОТ между группами. В словах, отнесённых к категории «атипичное развитие», у детей 8–9 и 12–14 лет значения ЧОТ безударных гласных выше ($p < 0,05$; $p < 0,001$ — соответственно) по сравнению со словами, отнесёнными к категории «типичное развитие» (табл. 25, рис. 27Б).



По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна —

Уитни

Рис. 27. Значения частоты основного тона ударных (А) и безударных (Б) гласных из слов, отнесённых аудитором к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

Таблица 25. Значения частоты основного тона ударных и безударных гласных из слов, отнесённых аудиторам к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторам к категории «типичное развитие», Гц

Возраст, л	Группа			
	атипичное развитие		типичное развитие	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	277,8±46,1 (медиана — 281,2)	257,1±33,2 (234,2)	301,4±41,8 (291,3)	285,5±32,5 (281,2)
8–9	241,6±16,8 (246,3)	241,6±16,8 (246,3)	237,7±20 (234,3)	237,9±20 (234,3)
10–11	231,5±30,6 (234,3)	231,5±13 (234,3)	253,2±30,6 (234,3)	253,8±30,6 (234,3)
12–14	301,3±51,8 (301, 4)	335,2±56,1 (301, 4)	246±17,6 (234,3)	228,5±10,2 (234,3)

Таким образом, слова детей, отнесённые к категории «атипичное развитие», характеризуются большими по сравнению с словами, отнесёнными к категории «типичное развитие», значениями длительности и частоты основного тона гласных.

3.4.3. Акустические характеристики тестового материала (фразы)

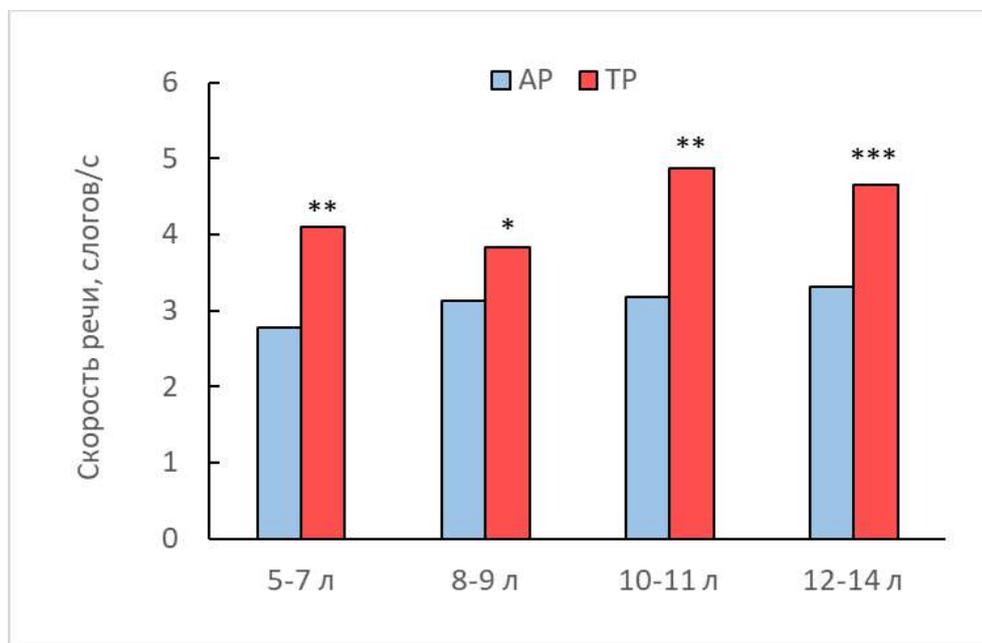
3.4.3.1. Количество слов во фразах и скорость речи

Фразы детей, отнесённые аудиторам к категории «атипичное развитие», характеризуются меньшим числом слов по сравнению с фразами, отнесёнными аудиторам к категории «типичное развитие» (5–7 лет — $p < 0,001$; 8–9, 10–11 лет — $p < 0,01$; 12–14 лет — $p < 0,05$) (табл. 26).

Таблица 26. Количество слов во фразах, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» и «типичное развитие»

Возраст, л	Атипичное развитие	Типичное развитие
5–7	1,6±0,6	3,7±1,3
8–9	1,7±0,6	3,2±0,8
10–11	2,5±0,8	4,7±1,3
12–14	3,5±1,9	4,5±1,6

Фразы, отнесённые к категории «типичное развитие», отличаются большей по сравнению с фразами, отнесёнными к категории «атипичное развитие», скоростью речи (5–7 лет — $p < 0,01$; 8–9 лет — $p < 0,05$; 10–11 лет — $p < 0,01$; 12–14 лет — $p < 0,001$) (рис. 28).



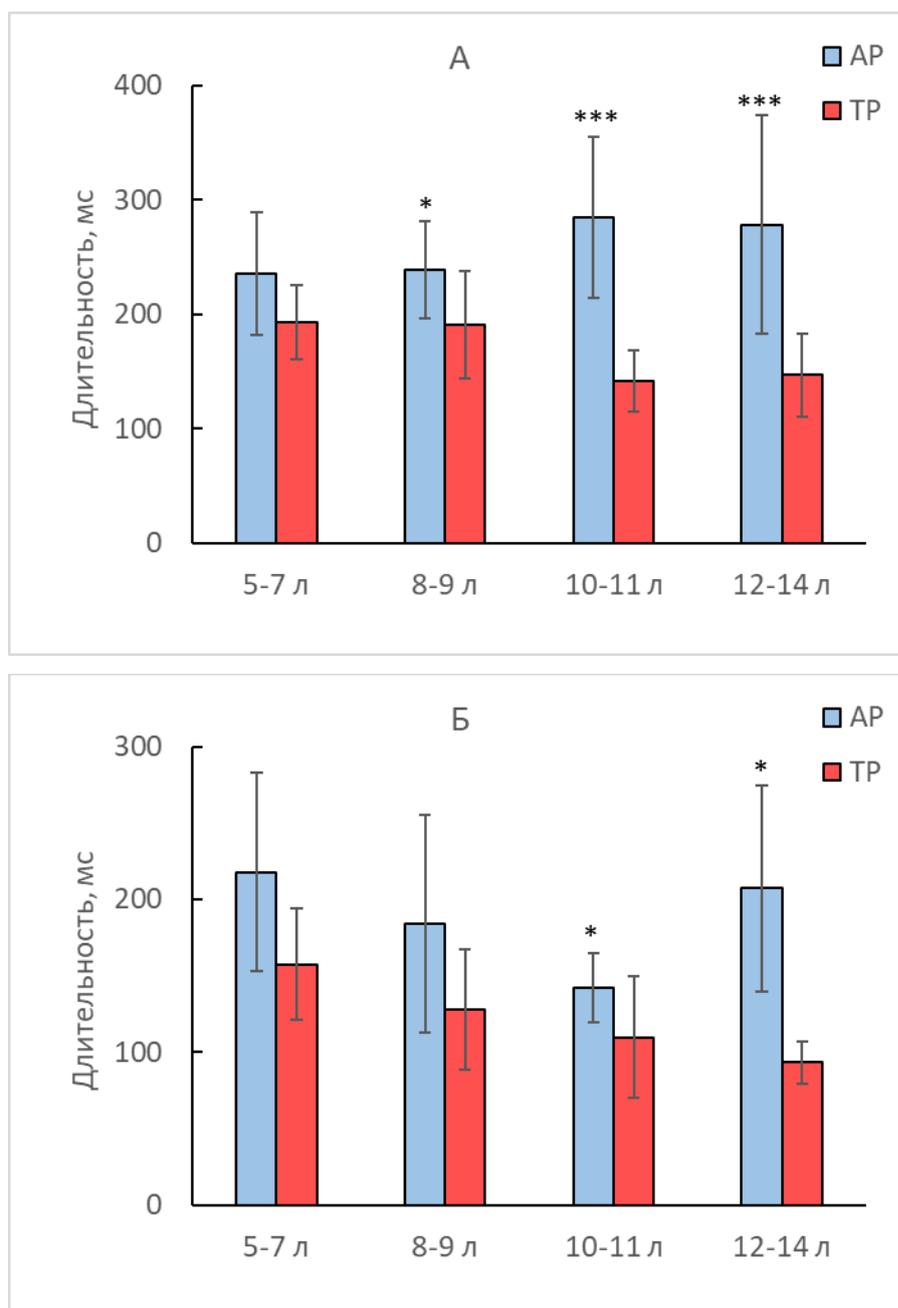
По вертикальной оси — скорость речи, слогов/с; по горизонтальной оси — возраст детей, л; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 28. Скорость речи фраз, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

3.4.3.2. Длительность фраз, слов, ударных и безударных гласных

Речевой материал, отнесённый к категориям «атипичное развитие» и «типичное развитие», не различается по длительности фраз и пауз.

Ударные гласные детей 5–7 лет значимо не различаются по длительности. Ударные гласные детей 8–9, 10–11 и 12–14 лет из фраз, отнесённых к категории «атипичное развитие», имеют большую длительность ($p < 0,05$; $p < 0,001$; $p < 0,001$ — соответственно) по сравнению с гласными из фраз, отнесённых к категории «типичное развитие» (табл. 27, рис. 29А). Не выявлено значимых различий в длительности безударных гласных у детей в возрасте 5–9 лет. Безударные гласные детей 10–11 и 12–14 лет из фраз, отнесённых к категории «атипичное развитие», имеют большую длительность ($p < 0,05$) по сравнению с гласными из фраз, отнесённых к категории «типичное развитие» (табл. 27, рис. 29Б).



По вертикальной оси — длительность, мс; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна —

Уитни

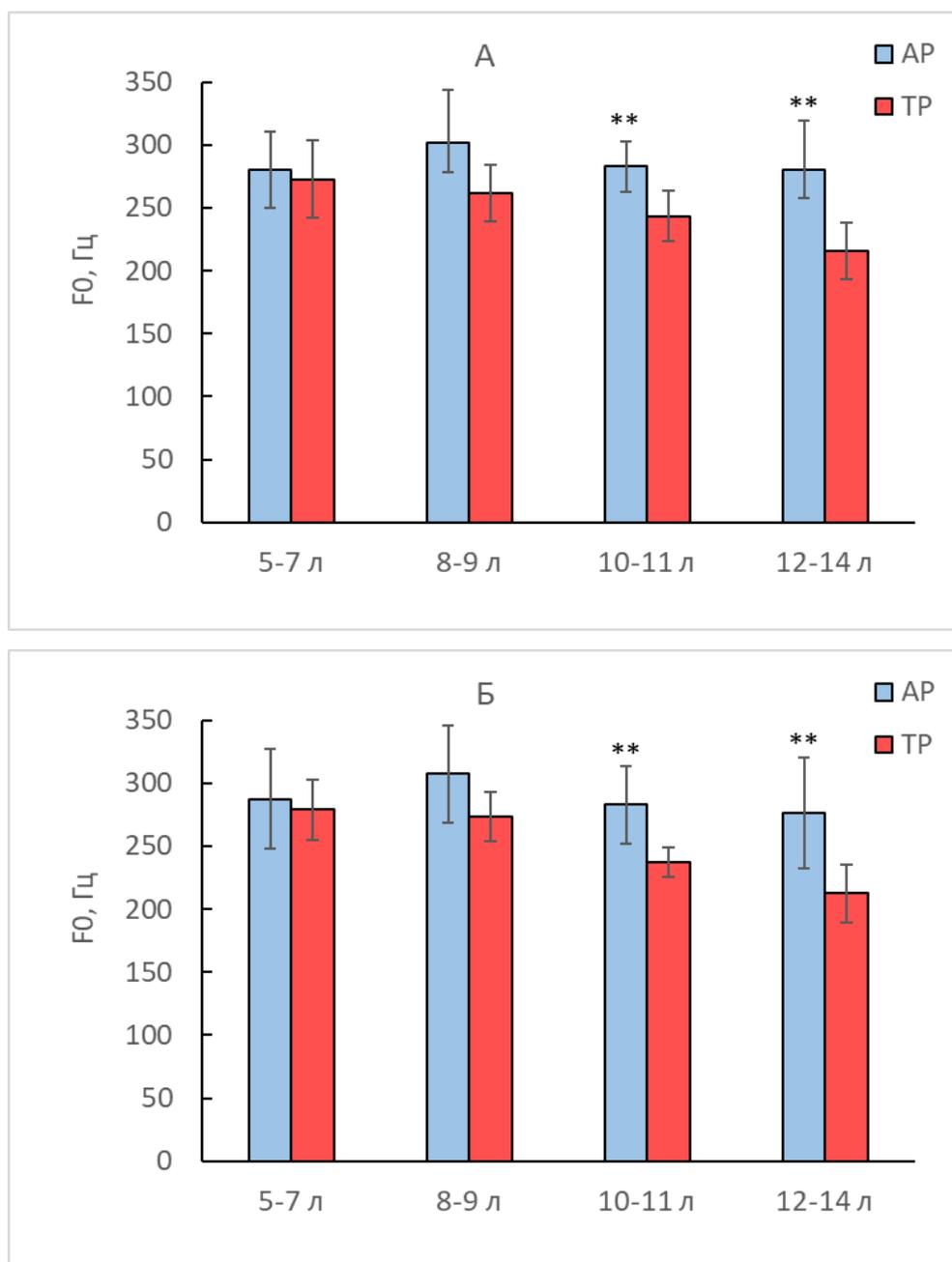
Рис. 29. Длительность ударных (А) и безударных (Б) гласных из фраз, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

Таблица 27. Длительность ударных и безударных гласных из слов во фразах, отнесённых аудиторами к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторами к категории «типичное развитие», мс

Возраст, л	Группа			
	атипичное развитие		типичное развитие	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	235,6±53,8 (медиана — 221,5)	217,8±64,9 (191,5)	193,1±32,1 (187)	157,5±36,4 (148)
8–9	238,7±42,1 (251)	184,3±71,4 (147,5)	190,1±47,1 (163)	128±39,4 (121,5)
10–11	284,8±70,7 (267,5)	142,4±22,5 (137)	141,5±26,8 (151)	209,9±40,1 (95,5)
12–14	278,5±95,1 (237)	207,3±67,6 (194,5)	146,6±36,3 (137)	93,3±14,1 (95)

3.4.3.3. Значения частоты основного тона фраз, слов, ударных и безударных гласных

Значения ЧОТ по фразе и слову значительно не различаются у детей 5–9 лет. У детей в возрасте 10–11 и 12–14 лет значения ЧОТ по фразе и по слову во фразах, отнесённых к категории «атипичное развитие», выше ($p < 0,01$) значений ЧОТ во фразах, отнесённых к категории «типичное развитие» (рис. 30). У детей в возрасте 8–9 и 12–14 лет максимальные значения ЧОТ по фразе и по слову во фразах, отнесённых к категории «атипичное развитие», выше ($p < 0,01$) по сравнению с соответствующим речевым материалом, отнесёнными к категории «типичное развитие».



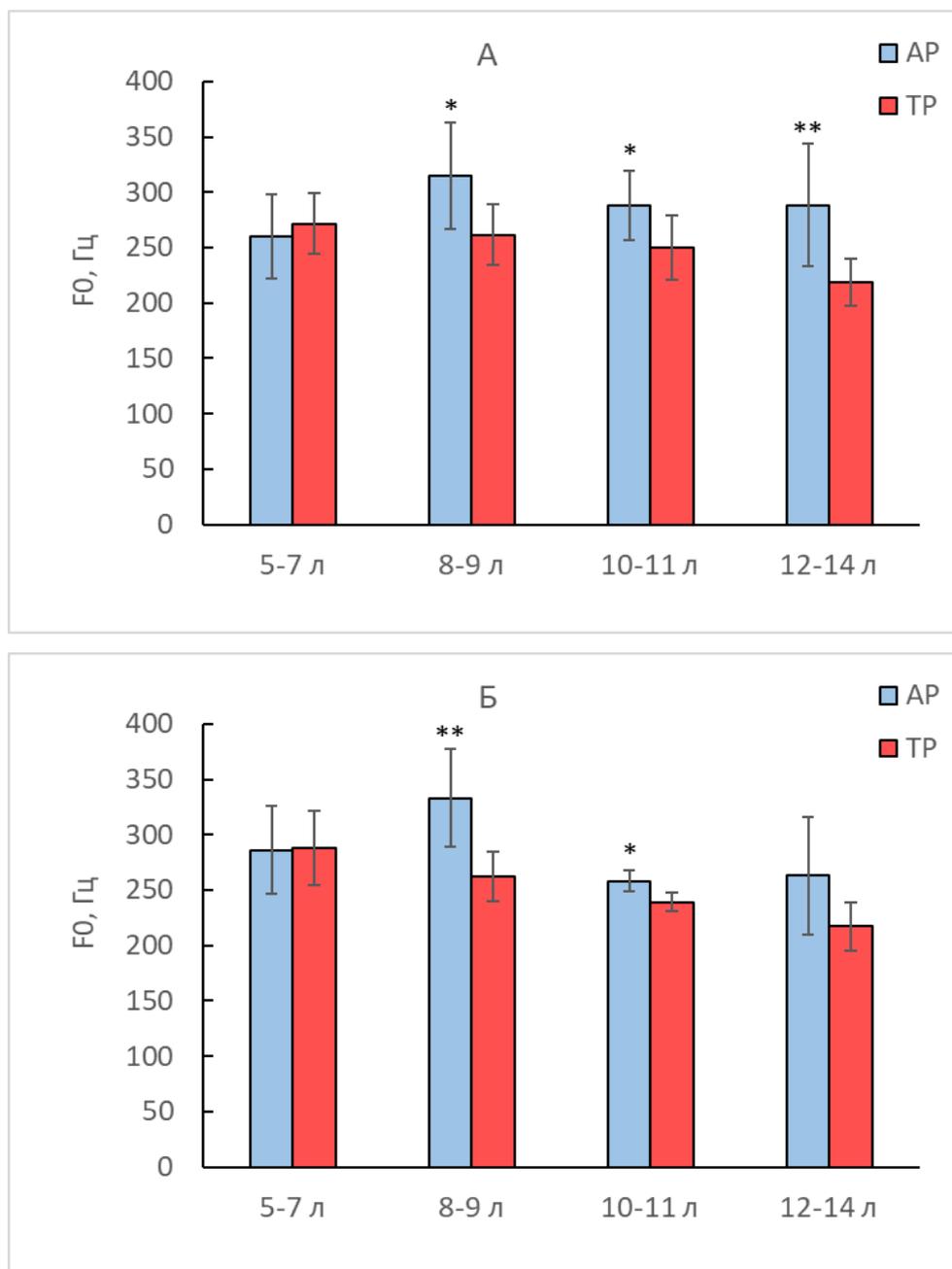
По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 30. Значения частоты основного тона по фразе (А) и слову (Б) во фразах, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

В возрасте 5–7 лет значения ЧОТ ударных гласных не различаются. Значения ЧОТ ударных гласных у детей в возрасте 8–9, 10–11 и 12–14 лет выше ($p < 0,05$; $p < 0,05$ $p < 0,001$ — соответственно) во фразах, отнесённых к категории «атипичное развитие», чем во фразах, отнесённых к категории «типичное развитие» (табл. 28, рис. 31А).

Не выявлено значимых различий в значениях ЧОТ безударных гласных у детей 5–7 и 12–14 лет. Значения ЧОТ безударных гласных у детей в возрасте 8–9 и 10–11 лет выше

($p < 0,05$; $p < 0,01$ — соответственно) во фразах, отнесённых к категории «атипичное развитие», чем во фразах, отнесённых к категории «типичное развитие» (табл. 28, рис. 31Б).



По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — возраст детей, лет; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 31. Значения ЧОТ ударных (А) и безударных (Б) гласных слов из фраз, отнесённых аудиторам к категориям «атипичное развитие» (AP) и «типичное развитие» (TP)

Таблица 28. Значения частоты основного тона ударных и безударных гласных из слов, отнесённых аудиторам к категории «атипичное развитие», и слов, отнесённых аудиторам к категории «типичное развитие», Гц

Возраст, л	Группа			
	атипичное развитие		типичное развитие	
	ударные	безударные	ударные	безударные
5–7	259,8±38,3 (медиана — 234,3)	287,5±39,7 (281,2)	271,7±27,2 (281,2)	287,9±33,9 (281,2)
8–9	314,3±48,1 (281,2)	333,1±44,3 (314,8)	361,7±27,4 (257,8)	262,4±22,5 (281,2)
10–11	288,5±31,3 (281,2)	258,3±9,5 (258,3)	249,9±29,2 (234,3)	239±8,4 (234,3)
12–14	288,4±55,2 (301,4)	262,9±53,4 (246,3)	218,7±20,8 (234,3)	217,3±21,7 (234,3)

Речевой материал детей, отнесённый аудиторам к категории «атипичное развитие», характеризуется меньшим количеством слов, меньшей скоростью речи по сравнению с соответствующим материалом, отнесённым аудиторам к категории «типичное развитие», и большими значениями длительности ударных и безударных гласных, большими значениями ЧОТ по фразе, слову, ударному и безударному гласному.

3.4.4. Связь между распознаванием аудиторам психоневрологического состояния детей и акустическими характеристиками тестового материала

На основании корреляционного анализа (про Спирмену, $p < 0,05$) показаны связи между отнесением речевых сигналов детей к категории «атипичное развитие» и:

1) количеством слов во фразе (-0,47) — аудиторы относят к категории «атипичное развитие» фразы с меньшим количеством слов;

2) скоростью речи (-0,5) — аудиторы относят к категории «атипичное развитие» фразы с меньшей скоростью речи — данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(6, 113) = 8,305$ $p < 0,0000$ ($R^2 = 0,269$ $\beta = -0,552$);

3) типом реплики в тесте (-0,47) — аудиторы реже относят к категории «атипичное развитие» реплики детей, представленные фразой или несколькими фразами, по сравнению с репликами, представленными словом или речеподобной конструкцией;

4) длительностью фразы (-0,35) — аудиторы относят к категории «атипичное развитие» фразы с меньшей длительностью;

5) длительностью ударного гласного (0,47); безударного гласного (0,24) — данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(6, 79) = 8,781$ $p < 0,0000$ ($R^2 = 0,355$ $\beta = 0,267$) — в сигналах, отнесённых к категории «атипичное развитие» больше длительность ударных и безударных гласных, чем в сигналах, отнесённых к категории «типичное развитие»;

6) длительностью пауз (0,18) — аудиторы относят к категории «атипичное развитие» сигналы с большей длительностью пауз;

7) значениями ЧОТ по фразе (0,39), по слову (0,36), по ударному гласному (0,3) — аудиторы относят к категории «атипичное развитие» сигналы с более высокими значениями ЧОТ по фразе, слову и ударному гласному;

8) максимальными значениями ЧОТ по фразе (0,46) — данные корреляционного анализа подтверждены данными множественного регрессионного анализа: $F(7, 112) = 7,701$ $p < 0,0000$ ($R^2 = 0,283$ $\beta = 0,548$); по слову (0,45), по ударному гласному (0,3), диапазоном ЧОТ по фразе (0,42) — в сигналах, отнесённых аудиторами к категории «атипичное развитие», более высокие максимальные значения ЧОТ по фразе, слову и ударному гласному, более высокие значения диапазона ЧОТ по фразе.

На основании данных мультирегрессионного анализа показана связь между отнесением речевых сигналов к категории «атипичное развитие» и:

1) минимальными значениями ЧОТ по фразе $F(7, 112) = 7,701$ $p < 0,0000$ ($R^2 = 0,83$ $\beta = -0,472$) — в сигналах, отнесённых аудиторами к категории «атипичное развитие» более высокие минимальные значения ЧОТ по фразе;

2) диапазоном ЧОТ ударного гласного $F(6, 79) = 8,781$ $p < 0,0000$ ($R^2 = 0,355$ $\beta = 0,477$) — в сигналах, отнесённых аудиторами к категории «атипичное развитие» более высокие значения диапазона ЧОТ по фразе.

Показана корреляция между баллами по шкале CARS и акустическими характеристиками речи: максимальные значения ЧОТ по слову (0,56), ЧОТ безударного гласного (0,7), интенсивность ЧОТ безударного гласного (0,36).

Таким образом, на отнесение речевых сигналов детей к категории «атипичное развитие» влияет меньшее число слов во фразе, низкая скорость речи, тип реплики — одно слово или речеподобная конструкция, меньшая длительность фразы, большая длительность гласных и пауз, высокие значения ЧОТ по фразе, слову и гласному, высокие значения диапазона ЧОТ.

3.5. Распознавание взрослыми эмоционального состояния детей

3.5.1. Данные перцептивного эксперимента

При распознавании эмоционального состояния детей с РАС в возрасте 5–7 лет аудиторы лучше определяли состояние дискомфорта (63% правильных ответов) и нейтральное (60% правильных ответов), чем состояние комфорта (58% правильных ответов). Средняя полнота (UAR) распознавания составила 0,6 (табл. 29).

Таблица 29. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния детей с РАС 5–7 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	58	28	14
Нейтральное	8	60	32
Дискомфорт	15	22	63
Recall	0,58	0,6	0,63
Precision	0,72	0,55	0,58
F ₁ -score	0,64	0,57	0,6
UAR	0,6		

При распознавании эмоционального состояния детей с РАС в возрасте 8–9 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (78% правильных ответов) и дискомфорта (52% правильных ответов), чем нейтральное состояние (34% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,55 (табл. 30).

Таблица 30. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния детей с РАС 8–9 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	78	16	6
Нейтральное	52	34	14
Дискомфорт	36	12	52
Recall	0,78	0,34	0,52
Precision	0,47	0,55	0,72
F ₁ -score	0,59	0,42	0,6
UAR	0,55		

При распознавании эмоционального состояния детей с РАС в возрасте 10–11 лет аудиторы лучше определяли состояние дискомфорта (78% правильных ответов) и нейтральное (74% правильных ответов), чем состояние комфорта (43% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,65 (табл. 31).

Таблица 31. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния детей с РАС 10–11 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	43	46	11
Нейтральное	11	74	15
Дискомфорт	12	9	78
Recall	0,43	0,74	0,78
Precision	0,65	0,57	0,75
F ₁ -score	0,52	0,64	0,76
UAR	0,65		

При распознавании эмоционального состояния детей с РАС в возрасте 12–14 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (60% правильных ответов) и

дискомфорта (54% правильных ответов), чем нейтральное состояние (53% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,56 (табл. 32).

Таблица 32. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния детей с РАС 12–14 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	60	23	17
Нейтральное	18	53	29
Дискомфорт	28	18	54
Recall	0,6	0,53	0,54
Precision	0,57	0,56	0,54
F ₁ -score	0,58	0,54	0,54
UAR	0,56		

При распознавании эмоционального состояния ТР детей в возрасте 5–7 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (74% правильных ответов) и нейтральное (69% правильных ответов), чем состояние дискомфорта (46% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,63 (табл. 33).

Таблица 33. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния ТР детей 5–7 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	74	23	3
Нейтральное	26	69	5
Дискомфорт	35	18	46
Recall	0,74	0,69	0,46
Precision	0,55	0,63	0,85
F ₁ -score	0,63	0,66	0,6
UAR	0,63		

При распознавании эмоционального состояния ТР детей в возрасте 8–9 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (44% правильных ответов) и нейтральное (52% правильных ответов), чем состояние дискомфорта (24% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,4 (табл. 34).

Таблица 34. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния ТР детей 8–9 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	44	38	18
Нейтральное	28	52	20
Дискомфорт	16	60	24
Recall	0,44	0,52	0,24
Precision	0,5	0,35	0,39
F ₁ -score	0,47	0,42	0,3
UAR	0,4		

При распознавании эмоционального состояния ТР детей в возрасте 10–11 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (71% правильных ответов) и нейтральное (83% правильных ответов), чем состояние дискомфорта (46% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,63 (табл. 35).

Таблица 35. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния ТР детей 10–11 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	71	29	0
Нейтральное	12	83	5
Дискомфорт	5	49	46
Recall	0,71	0,83	0,46
Precision	0,81	0,52	0,9
F ₁ -score	0,76	0,64	0,61
UAR	0,67		

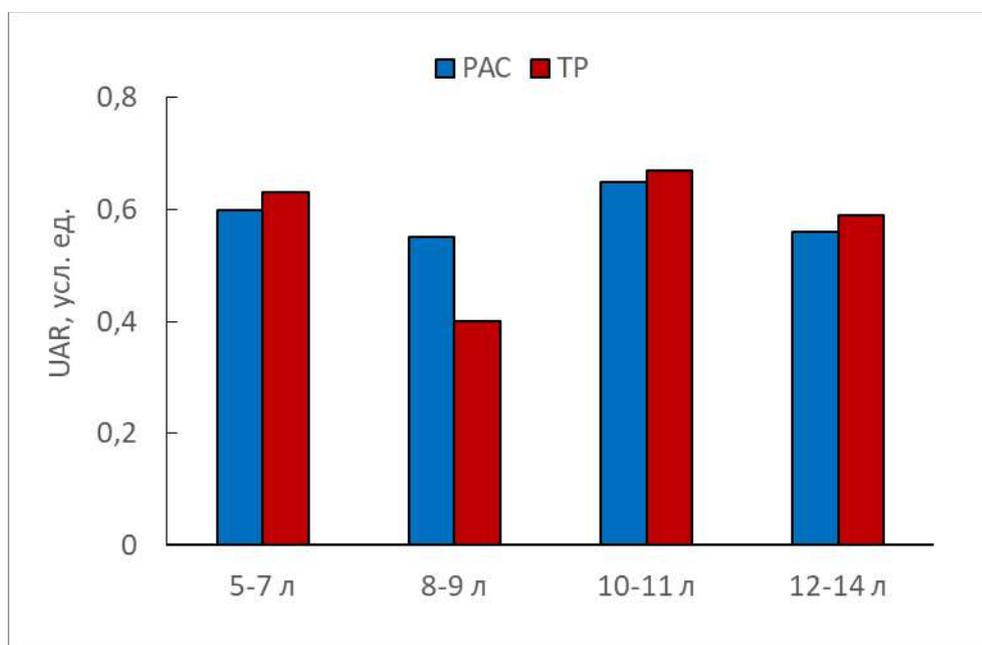
При распознавании эмоционального состояния ТР детей в возрасте 12–14 лет аудиторы лучше определяли состояние комфорта (63% правильных ответов) и нейтральное (67% правильных ответов), чем состояние дискомфорта (46% правильных ответов). Средняя полнота распознавания составила 0,59 (табл. 36).

Таблица 36. Матрица спутывания — распознавание эмоционального состояния ТР детей 12–14 лет: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт, % правильных ответов аудиторов

Состояние	Комфорт	Нейтральное	Дискомфорт
Комфорт	63	27	10
Нейтральное	22	67	11
Дискомфорт	10	44	46
Recall	0,63	0,67	0,46
Precision	0,66	0,49	0,69
F ₁ -score	0,64	0,57	0,55
UAR	0,59		

Эмоциональное состояние ТР детей в возрасте 5–7, 10–11 и 12–14 лет аудиторы определяют лучше, чем эмоциональное состояние детей с РАС. В возрасте 8–9 лет эмоциональное состояние лучше определено у детей с РАС, чем у ТР детей. Значения

средней полноты были максимальными в тестах на определение эмоционального состояния детей 10–11 лет (0,65 — РАС; 0,67 — ТР) и 5–7 лет (0,6 — РАС; 0,63 — ТР). Минимальные значения средней полноты были в тестах на определение состояния детей 8–9 лет: 0,55 — РАС; 0,4 — ТР (рис. 32).



По вертикальной оси — значения средней полноты (UAR), усл. ед.; по горизонтальной оси — возраст детей, лет

Рис. 32. Средняя полнота распознавания эмоционального состояния детей аудиторами

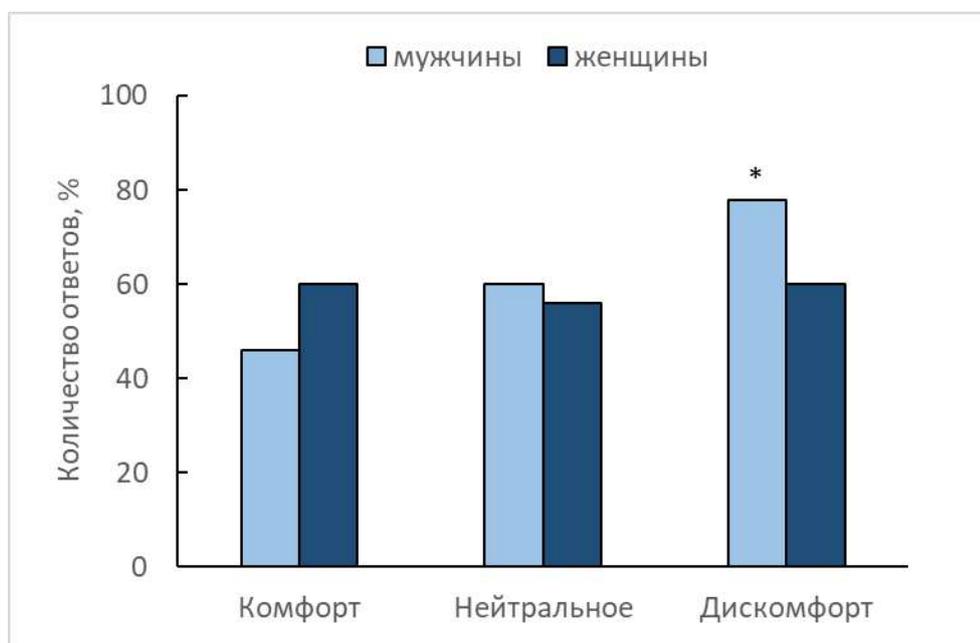
При распознавании эмоционального состояния детей 5–7 лет аудиторы демонстрировали умеренную согласованность ($\kappa = 0,408$), по остальным возрастным группам согласованность слабая (8–9 лет — 0,223; 10–11 лет — 0,378; 12–14 лет — 0,292). Во всех возрастных группах согласованность аудиторов выше при распознавании состояний комфорта и дискомфорта по сравнению с нейтральным состоянием (табл. 37).

Таблица 37. Согласованность аудиторов при распознавании эмоционального состояния детей

Возраст детей, л	Эмоциональное состояние	κ
5–7	комфорт	0,425
	нейтральное	0,315
	дискомфорт	0,489
	все состояния	0,408

<i>Продолжение таблицы 37</i>		
Возраст детей, л	Эмоциональное состояние	к
8–9	комфорт	0,295
	нейтральное	0,152
	дискомфорт	0,204
	все состояния	0,224
10–11	комфорт	0,419
	нейтральное	0,308
	дискомфорт	0,428
	все состояния	0,378
12–14	комфорт	0,317
	нейтральное	0,267
	дискомфорт	0,293
	все состояния	0,292

Аудиторы мужского пола лучше распознают состояние дискомфорта у детей с РАС, чем аудиторы женского пола ($p < 0,05$), значимых различий в распознавании состояний комфорта и нейтрального не выявлено (рис. 33).



По вертикальной оси — количество правильных ответов аудиторов, %; по горизонтальной оси — группы детей; * — $p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 33. Распознавание эмоционального состояния детей с РАС аудиторами разного пола

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) показаны связи:

1) между возрастом аудитора и распознаванием нейтрального состояния у ТР детей ($r = -0,68$) — аудиторы более старшего возраста хуже распознают нейтральное состояние ТР детей;

2) между полом аудитора (женский) и распознаванием дискомфортного состояния у детей с РАС ($-0,73$) — аудиторы женского пола хуже распознают состояние дискомфорта у детей с РАС;

3) между показателями дихотического тестирования (левое полушарие) и распознаванием дискомфортного состояния ТР детей ($0,48$) — аудиторы с ведущим левым полушарием по речи лучше распознают состояние дискомфорта у ТР детей;

4) опыт аудитора связан ($0,82$) с распознаванием нейтрального состояния у детей с РАС — аудиторы с опытом взаимодействия с детьми лучше распознают нейтральное состояние у детей с РАС;

5) уровень личностной ($-0,91$) и ситуативной ($-0,66$) тревожности связан с распознаванием нейтрального состояния ТР детей — аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают нейтральное состояние у ТР детей.

На основании множественного регрессионного анализа показаны связи между наличием у аудитора профессионального опыта взаимодействия с детьми, возрастом аудитора, порогами слуха, уровнем личностной и ситуативной тревожностью и распознаванием состояний комфорта и дискомфорта у детей с РАС и ТР детей (табл. 38).

Таблица 38. Связь между индивидуальными особенностями аудитора и распознаванием эмоционального состояния детей с РАС и ТР детей. Данные регрессионного анализа

R ²	F	Независимые переменные	β	SE β	B	SE B	t	p
РАС								
Зависимые переменные: состояние комфорта							t (15)	
0,315	(1,15) 6,911	Пороги слуха (аудиометрия — левое ухо)	-0,562	0,214	-29,33	11,155	-2,629	0,019
ТР								
Зависимые переменные: состояние комфорта							t (5)	
0,916	(6,5) 9,089	Личностная тревожность	-0,59	0,223	27,193	8,819	-2,651	0,045
		Ситуативная тревожность	-0,906	0,168	-1,985	0,367	-5,407	0,003

<i>Продолжение таблицы 38</i>								
Зависимые переменные: состояние комфорта							t (5)	
R ²	F	Независимые переменные	β	SE β	B	SE B	t	p
0,916	(6,5) 9,089	Профессиональный опыт	-0,934	0,195	-32,503	6,795	-4,783	0,005
Зависимые переменные: состояние дискомфорта							t (24)	
0,943	(5, 6) 19,911	Личностная тревожность	0,689	0,151	30,523	6,721	4,541	0,001
		Возраст аудитора	-0,692	0,113	-4,736	0,771	-6,142	0,001

R² — квадрат коэффициента корреляции (R); SE — стандартная ошибка; B — коэффициент регрессии

Аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают состояние комфорта у детей с РАС. Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают состояние комфорта у ТР детей, но лучше — состояние дискомфорта; аудиторы с профессиональным опытом взаимодействия с детьми лучше распознают состояние комфорта у ТР детей. Аудиторы более старшего возраста хуже определяют состояние дискомфорта у ТР детей.

3.5.2. Акустические характеристики тестового материала

В сигналах, отражающих состояние комфорта, у детей с РАС выше длительность слов по сравнению с нейтральным состоянием и ниже длительность пауз ($p < 0,05$). В сигналах, отражающих состояние дискомфорта, выше длительность фраз и слов по сравнению с нейтральным состоянием и ниже длительность пауз ($p < 0,05$). У ТР детей в состояниях комфорта и дискомфорта выше длительность слова по сравнению с нейтральным состоянием ($p < 0,05$). Длительность ударных и безударных гласных во всех трёх эмоциональных состояниях значимо не различается и у детей с РАС, и у ТР детей (табл. 39, рис. 34).

Значения ЧОТ по фразам, словам и ударным гласным у детей с РАС выше в состояниях комфорта ($p < 0,01$) и дискомфорта ($p < 0,01$; $p < 0,001$; $p < 0,001$ — по фразе, слову, ударному гласному соответственно), чем в нейтральном состоянии. Значения ЧОТ безударных гласных у детей с РАС и ТР детей выше в состоянии дискомфорта по сравнению с нейтральным состоянием ($p < 0,01$) (табл. 39, рис. 35).

В состояниях комфорта и дискомфорта у детей с РАС выше диапазон ЧОТ по фразе ($p < 0,01$), слову ($p < 0,01$), ударному гласному ($p < 0,05$), чем в нейтральном состоянии. У

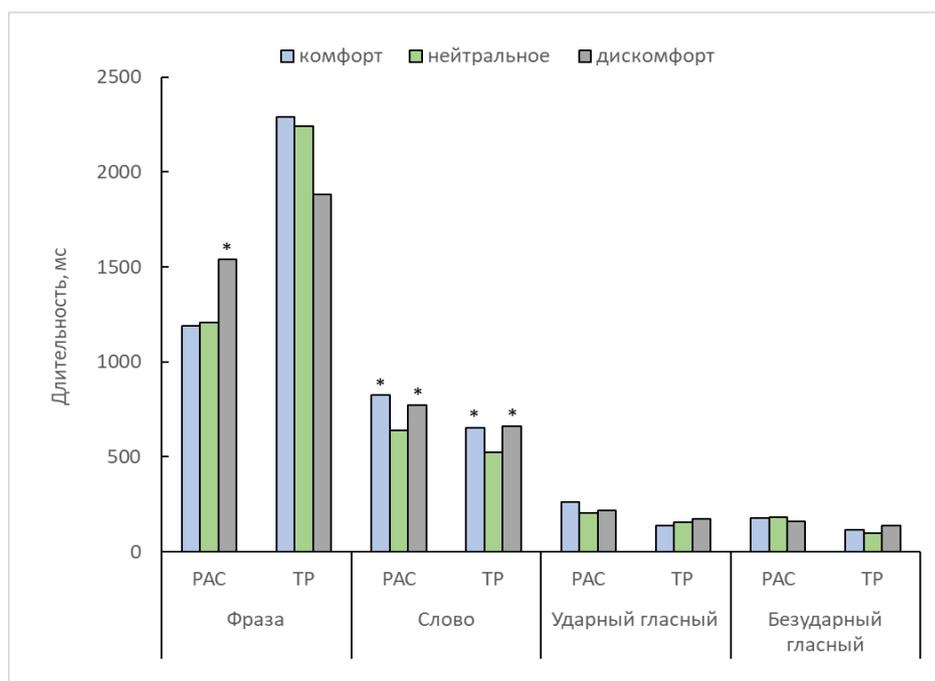
ТР детей выше диапазон ЧОТ по фразе ($p < 0,05$) и слову ($p < 0,05$) в состояниях комфорта и дискомфорта, чем в нейтральном состоянии. Диапазон ЧОТ ударного гласного у ТР детей выше в состоянии дискомфорта, чем в нейтральном состоянии ($p < 0,05$) (табл. 39, рис. 36).

Значения третьей форманты ударного гласного /i/ у детей с РАС в состоянии комфорта выше ($p < 0,05$), чем в нейтральном состоянии; в состоянии дискомфорта — выше, чем в состоянии комфорта ($p < 0,05$) (табл. 39).

Таблица 39. Различия между акустическими характеристиками речевых сигналов детей, отражающих разное эмоциональное состояние

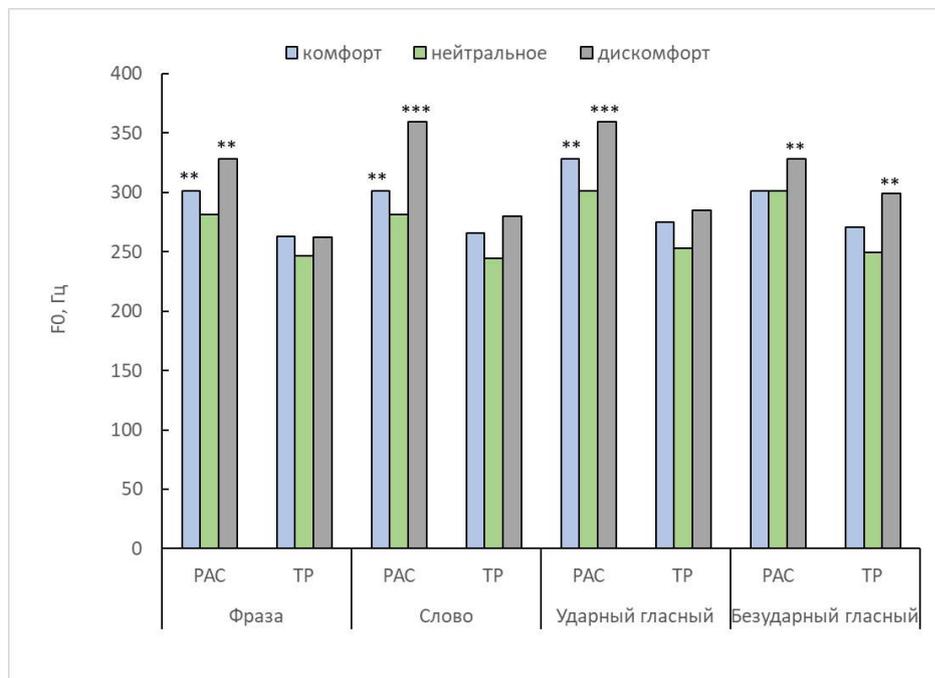
Характеристики	Эмоциональное состояние					
	комфорт (К)		нейтральное (Н)		дискомфорт (Д)	
	РАС	ТР	РАС	ТР	РАС	ТР
Длительность фразы					Д > Н*	
Длительность слова	К > Н*	К > Н*			Д > Н*	Д > Н*
Длительность паузы			Н > К* Н > Д*			
ЧОТ фразы	К > Н**				Д > Н**	
ЧОТ слова	К > Н**				Д > Н***	
ЧОТ ударного гласного	К > Н**				Д > Н***	
ЧОТ безударного гласного					Д > Н**	Д > Н**
Диапазон ЧОТ фразы	К > Н**	К > Н*			Д > Н**	Д > Н*
Диапазон ЧОТ слова	К > Н**	К > Н*			Д > Н**	Д > Н*
Диапазон ЧОТ ударного гласного	К > Н*				Д > Н*	
F3 /i/					Д > К > Н*	

* — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни



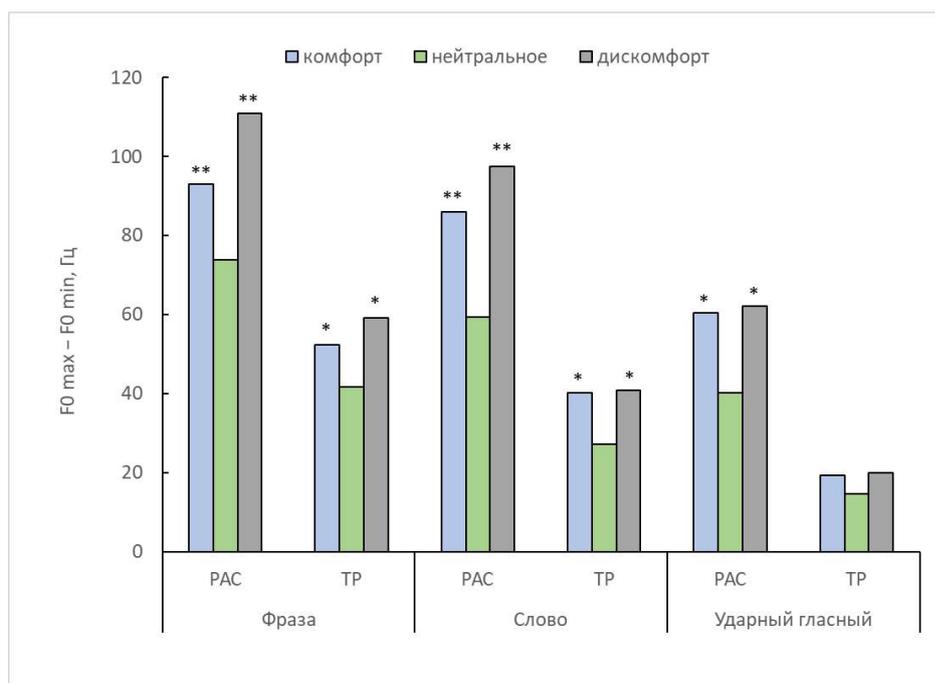
По вертикальной оси — длительность, мс; по горизонтальной оси — характеристики и группы детей; * — $p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 34. Длительность фраз, слов и гласных детей с РАС и ТР детей в речевых сигналах, отражающих разные эмоциональные состояния



По вертикальной оси — значение ЧОТ, Гц; по горизонтальной оси — характеристики и группы детей; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 35. Значения частоты основного тона фраз, слов и ударных гласных детей с РАС и ТР детей в речевых сигналах, отражающих разные эмоциональные состояния



По вертикальной оси — диапазон частоты основного тона, Гц; по горизонтальной оси — характеристики и группы детей; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$ — критерий Манна — Уитни

Рис. 36. Диапазон частоты основного тона фраз, слов и ударных гласных детей с РАС и ТР детей в речевых сигналах, отражающих разные эмоциональные состояния

Показаны различия в акустических характеристиках эмоциональных речевых сигналов детей с РАС, правильно классифицированных аудитором (вероятность распознавания — 0,75–1,0), по сравнению с сигналами, классифицированными неправильно (вероятность распознавания — 0,0–0,25). Правильно распознанные сигналы, отражающие состояние комфорта, характеризуются большими минимальными значениями ЧОТ по фразе ($p < 0,05$ — критерий Манна — Уитни), максимальными значениями ЧОТ ударного гласного ($p < 0,05$); сигналы, отражающие нейтральное состояние, — меньшими максимальными и минимальными значениями ЧОТ по фразе ($p < 0,05$; $p < 0,001$ — соответственно); по слову ($p < 0,05$), максимальными значениями ЧОТ ударного гласного ($p < 0,05$). Сигналы, отражающие состояние дискомфорта, характеризуются меньшими значениями интенсивности ЧОТ ударного гласного ($p < 0,05$) (табл. 40).

Таблица 40. Различия в акустических характеристиках эмоциональных речевых сигналов детей с РАС, распознанных аудиторами с высокой и низкой вероятностью

Характеристики	Эмоциональное состояние					
	Комфорт		Нейтральное состояние		Дискомфорт	
	вероятность распознавания		вероятность распознавания		вероятность распознавания	
	0,75–1,0	0,0–0,25	0,75–1,0	0,0–0,25	0,75–1,0	0,0–0,25
макс. ЧОТ фразы, Гц			303,9±35,7	339,6±29,3*		
мин. ЧОТ фразы, Гц	283,9±31,9*	259,5±20,2	219±14,3	281±29,4***		
макс. ЧОТ слова, Гц			300,5±38	339,6±29,3*		
мин. ЧОТ слова, Гц			238,9±31,7	295,3±43,7*		
макс. ЧОТ ударного гласного, Гц	383,4±57,7*	317,9±45,6	293,9±41,8	339,7±29,4*		
интенсивность ЧОТ ударного гласного, дБ					-32,9 ±9,2	-24,3 ±9,3*

макс. — максимальное значение; мин. — минимальное значение; * — $p < 0,05$; *** — $p < 0,001$ — критерий Манна — Уитни

Правильно классифицированные аудиторами сигналы ТР детей, отражающие состояние комфорта, характеризуются большими значениями ЧОТ по фразе и слову, максимальными значениями ЧОТ по фразе, диапазоном ЧОТ по фразе, большей интенсивностью ЧОТ ударного гласного ($p < 0,05$); сигналы, отражающие состояние дискомфорта — большей интенсивностью ЧОТ ударного гласного ($p < 0,05$) (табл. 41). Различий между сигналами, отражающими нейтральное состояние, не выявлено.

Таблица 41. Различия в акустических характеристиках эмоциональных речевых сигналов ТР детей, распознанных аудиторами с высокой и низкой вероятностью

Характеристики	Эмоциональное состояние			
	Комфорт		Дискомфорт	
	вероятность распознавания		вероятность распознавания	
	0,75–1,0	0,0–0,25	0,75–1,0	0,0–0,25
ЧОТ фразы, Гц	286±31,7*	239,1±7,6		
ЧОТ слова, Гц	290,6±48,6*	239,1±7,7		
макс. ЧОТ фразы, Гц	319,8±32,9*	266,5±25,7		
диапазон ЧОТ по фразе, Гц	69,2±21,7*	27,38±21,9		
интенсивность ЧОТ ударного гласного, дБ	-29,6±7,34*	-43,2±13,3	-29,2±5,8*	-36,2±2,8

макс. — максимальное значение; * — $p < 0,05$

3.5.3. Связь между распознаванием аудиторами эмоционального состояния детей и акустическими характеристиками тестового материала

На основании корреляционного анализа (по Спирмену, $p < 0,05$) показаны связи:

1) между распознаванием аудиторами нейтрального состояния у детей с РАС и значениями ЧОТ: по фразе (-0,39), по слову (-0,44), по ударному гласному (-0,48), по безударному гласному (-0,32); максимальными и минимальными значениями ЧОТ: по фразе (-0,49 — F0 max; -0,5 — F0 min), по слову (-0,47; -0,43), по ударному гласному (-0,5; -0,41) — у сигналов, отнесённых к нейтральному состоянию, более низкие значения ЧОТ по сравнению с сигналами, отнесёнными к состояниям комфорта и дискомфорта;

2) между распознаванием аудиторами нейтрального состояния у детей с РАС и диапазоном ЧОТ по фразе (-0,27) — у сигналов, отнесённых к нейтральному состоянию, более низкие значения диапазона ЧОТ по фразе;

3) между распознаванием аудиторами состояния дискомфорта у детей с РАС и значениями ЧОТ: по фразе (0,41), по слову (0,42), по ударному гласному (0,32), по безударному гласному (0,36); максимальными и минимальными значениями ЧОТ: по фразе (0,32 — F0 max; 0,31 — F0 min), по слову (0,3; 0,29), по ударному гласному (0,29; 0,31) — у сигналов, отнесённых к состоянию дискомфорта, более высокие значения ЧОТ;

4) между распознаванием аудиторами состояния комфорта у ТР детей и значениями ЧОТ: по фразе (0,34), по слову (0,34), по ударному гласному (0,3), по безударному гласному (0,31); максимальными и минимальными значениями ЧОТ:

по фразе (0,38 — F0 max; 0,37 — F0 min), по слову (0,26; 0,37), по ударному гласному (0,29; 0,3) — у сигналов, отнесённых к состоянию комфорта, более высокие значения ЧОТ;

5) между распознаванием аудиторами нейтрального состояния у ТР детей и значениями ЧОТ: по фразе (-0,32), по слову (-0,36), по ударному гласному (-0,27), по безударному гласному (-0,36); максимальными и минимальными значениями ЧОТ: по фразе (-0,34 — F0 max; -0,32 — F0 min), по слову (-0,27; -0,36); минимальными значениями ЧОТ по ударному гласному (-0,3) — у сигналов, отнесённых к нейтральному состоянию, более низкие значения ЧОТ;

6) между распознаванием аудиторами нейтрального состояния у ТР детей и диапазоном ЧОТ по фразе (-0,26) — у сигналов, отнесённых к нейтральному состоянию, более низкие значения диапазона ЧОТ по фразе.

На основании множественного регрессионного анализа показаны связи между скоростью речи детей, длительностью, значениями ЧОТ фраз и гласных, значениями F3 и распознаванием их эмоционального состояния аудиторами (табл. 42)

Таблица 42. Связь между распознаванием аудиторами эмоционального состояния детей и акустическими характеристиками тестового материала. Данные регрессионного анализа

R ²	F	Независимые переменные	β	SE β	B	SE B	t	p
РАС								
Зависимые переменные: состояние комфорта							t (21)	
0,811	(17,21) 5,312	Скорость речи	-0,669	0,188	-0,261	0,073	-0,247	0,0002
Зависимые переменные: нейтральное состояние							t (24)	
0,697	(14, 24) 3,935	ЧОТ по фразе	-0,431	0,191	-0,002	0,001	-2,264	0,0016
		ЧОТ безударного гласного	-0,942	0,443	-0,003	0,001	-2,125	0,0016
Зависимые переменные: состояние дискомфорта							t (24)	
0,679	(14, 24) 3,618	Длительность фразы	-0,641	0,276	-0,001	0,001	-2,321	0,0028
		Минимальная ЧОТ по фразе	-0,569	0,273	-0,004	0,002	-2,083	0,0028

<i>Продолжение таблицы 42</i>								
R ²	F	Независимые переменные	β	SE β	B	SE B	t	p
ТР								
Зависимые переменные: состояние комфорта							t (13)	
0,927	(26, 13) 6,346	Ф3 ударного гласного	0,575	0,244	0,001	0,001	2,356	0,0006
		ЧОТ по фразе	-0,815	0,336	-0,005	0,002	-2,429	0,0006
Зависимые переменные: состояние дискомфорта							t (16)	
0,909	(23, 13) 6,97	Длительность фразы	-0,692	0,169	-0,001	0,001	-4,089	0,0001
		Длительность ударного гласного	0,486	0,141	0,001	0,001	3,461	0,0001

R² — квадрат коэффициента корреляции (R); SE — стандартная ошибка; B — коэффициент регрессии

Аудиторы относят к состоянию комфорта сигналы детей с РАС с более низкой скоростью речи. К нейтральному состоянию аудиторы относят сигналы детей с РАС с меньшими значениями ЧОТ по фразе и безударному гласному. К состоянию дискомфорта аудиторы относят сигналы детей с РАС с меньшей длительностью и низкими минимальными значениями ЧОТ по фразе.

Сигналы ТР детей, отнесённые аудиторами к состоянию комфорта, характеризуются низкими значениями ЧОТ по фразе и высокими значениями Ф3 ударного гласного. К состоянию дискомфорта аудиторы относят сигналы ТР детей с меньшей длительностью фразы и большей длительностью ударных гласных.

Показана корреляция между баллами по шкале CARS и:

- 1) интенсивностью ЧОТ безударного гласного (0,64) в сигналах, отражающих состояние комфорта;
- 2) максимальными значениями ЧОТ по фразе (0,58), слову (0,53), ударному гласному (0,5); минимальными значениями ЧОТ по фразе (0,52) и слову (0,52) в сигналах, отражающих нейтральное состояние;
- 3) длительностью безударных гласных в сигналах, отражающих состояние дискомфорта (0,65).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В проведённом исследовании выявлено влияние физиологических и психофизиологических характеристик аудиторов на характер распознавания ими информации, содержащейся в речевых сигналах детей.

Показано, что взрослые способны правильно распознавать лексическое значение слов детей с РАС и ТР детей, при этом лексическое значение слов детей с РАС взрослые определяют хуже по сравнению со словами ТР детей. Возраст детей с РАС и ТР детей не влияет на вероятность распознавания лексического значения слов аудиторами. Полученные данные уточняют результаты предыдущих исследований, проведённых на речевом материале детей с РАС в возрасте 5–14 лет (Lyakso et al., 2017) и 4–16 лет (Ляксо и др., 2021). Однако в этих работах показано более низкое число правильных ответов аудиторов, прослушивавших тесты, что может быть связано с различиями в организации тестовых последовательностей, в сложности тестового материала и с различиями в степени выраженности аутистических расстройств у детей, чей речевой материал использовался для перцептивных экспериментов, т.к. у детей с РАС характер проявления нарушений речи крайне индивидуален.

На распознавание лексического значения слов детей с РАС влияет пол аудитора: аудиторы женского пола лучше определяют значение слов детей, чем аудиторы мужского пола, это, вероятно, связано с тем, что женщины имеют больший по сравнению с мужчинами опыт общения с детьми и поэтому лучше понимают их речь. В работе показано, что аудиторы старшего возраста лучше распознают лексическое значение слов детей с РАС, что тоже может быть связано с большим опытом общения с детьми.

Пороги слуха аудитора влияют на распознавание лексического значения слов — аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают значение слов ТР детей. Полученные результаты дополняют данные, описанные в работе (Lyakso et al., 2017), где показано, что аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают лексическое значение слов детей с РАС.

Высокий уровень тревожности отрицательно влияет на распознавание слов детей с РАС. В работе, посвящённой изучению влияния тревожности на восприятие слов (Mattys et al., 2013), аудиторам с высоким и низким уровнем тревожности предлагалось различить похожие по звучанию слова, и аудиторы с высоким уровнем тревожности также демонстрировали худшие результаты в этом задании. Вероятно, у аудиторов с высоким уровнем тревожности может быть снижена концентрация внимания (Pacheco-Unguetti et al., 2010; Najmi et al., 2011), и это приводит к тому, что они хуже распознают лексическое

значение слов детей во время прослушивания тестов, где требуется дать ответ сразу после предъявления сигнала.

Взрослые способны правильно распознавать психоневрологическое состояние детей по речевым сигналам. Состояние ТР детей взрослые распознают лучше, чем состояние детей с РАС. Возраст детей не влияет на распознавание их психоневрологического состояния взрослыми. На распознавание психоневрологического состояния детей влияет организация тестового материала: по фразам аудиторы распознают состояние детей лучше, чем по отдельным словам. Полученные данные согласуются с результатами исследований, проведённых на речевом материале детей с РАС в возрасте 11–12 лет (Frolova et al., 2019) и 4–16 лет (Lyakso et al., 2021; Ляксо и др., 2021; Lyakso et al., 2022).

Речевые сигналы детей с РАС, распознанные аудиторами как принадлежащие детям с атипичным развитием, характеризуются высокими значениями ЧОТ и её вариативности по фразе, слову, ударному гласному, низкой скоростью речи. Эти акустические характеристики являются отличительными особенностями речи детей с РАС (Bonneh et al., 2010; Sharda et al., 2010; Lyakso et al. 2017; Redford et al., 2017; Patel et al., 2020). Аудиторы относили к категории «атипичное развитие» также речевые сигналы детей с РАС с небольшим числом слов во фразе. Это может говорить о том, что аудиторы при распознавании психоневрологического состояния ребёнка опираются не только на характеристики его голоса, но и на грамматическую структуру высказывания.

Аудиторы мужского пола лучше распознают психоневрологическое состояние детей с РАС. Вероятно, мужчины имеют меньший опыт общения с детьми и меньше знакомы с особенностями речевого развития детей и в связи с этим предъявляют повышенные требования к детской речи, относя к категории «атипичное развитие» любые речевые сигналы с нарушениями звукопроизношения. Аудиторы с бытовым и профессиональным опытом взаимодействия с детьми лучше распознают психоневрологическое состояние детей. Полученные данные расширяют результаты работы (Frolova et al., 2019), в которой на речевом материале детей с РАС, синдромом Дауна и ТР детей в возрасте 11–12 лет показано, что аудиторы с опытом работы с детьми лучше распознают их психоневрологическое состояние по сравнению с аудиторами без опыта.

Аудиторы с низкими порогами слуха (0–10 дБ) лучше распознают психоневрологическое состояние детей с РАС. Это дополняет данные работы (Григорьев, Городный, 2020), в которой показано, что пороги слуха влияют на правильное распознавание состояния детей с РАС, синдромом Дауна и ТР детей в возрасте 5–7 лет.

Аудиторы с ведущим левым полушарием по речи лучше распознают состояние детей с РАС, это может быть связано с тем, что левое полушарие, как считается, осуществляет поэлементный анализ речевого сигнала, выделение и идентификацию звуков речи (Галунов и др., 1986). Можно предположить, что аудиторы при распознавании речевого материала детей с РАС как принадлежащего детям с атипичным развитием опираются на артикуляционные особенности детей.

Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают психоневрологическое состояние детей с РАС и ТР детей по сравнению с аудиторами с низким и умеренным уровнем тревожности, что также может быть связано со снижением концентрации внимания во время выполнения заданий теста.

Показано, что взрослые способны правильно распознавать эмоциональное состояние детей с РАС и ТР детей. У детей с РАС взрослые лучше распознают состояния комфорта и дискомфорта, чем нейтральное; у ТР детей лучше распознают состояния комфорта и нейтральное, чем состояние дискомфорта. Взрослые лучше определяют эмоциональное состояние ТР детей, чем детей с РАС. Это не вполне согласуется с данными, полученными в работе (Ляксо и др., 2016). Согласно этой работе, взрослые лучше распознают эмоциональное состояние детей с РАС по сравнению с ТР детьми, однако в работе использовался речевой материал ТР детей в возрасте 4–7 лет. Вероятно, при распознавании эмоционального состояния ТР детей более старшего возраста аудиторы ориентируются больше на смысл высказывания, чем на просодические характеристики речи, в то время как значение высказываний детей с РАС понятно не всегда.

Аудиторы мужского пола лучше распознают дискомфортное состояние детей с РАС, чем аудиторы женского пола, при распознавании других эмоциональных состояний детей с РАС и эмоционального состояния ТР детей различий, связанных с полом аудитора, не выявлено. В работах, посвящённых изучению влияния пола аудитора на распознавание эмоций, данные противоречивы. В исследованиях (Scherer, Scherer, 2011; Lausen, Schlacht, 2018) показано, что женщины лучше распознают по речевым сигналам эмоциональные состояния в целом, однако при распознавании конкретных эмоциональных состояний различия отсутствуют. В исследовании (Paulmann et al., 2008) показано отсутствие связанных с полом различий при распознавании эмоций. Однако в этих работах в качестве тестового материала использовалась профессиональная актёрская речь, а задание для аудиторов включало отнесение речевых сигналов к одной из семи категорий: радость, печаль, страх, гнев, отвращение, удивление, нейтральное состояние.

Аудиторы, имеющие бытовой и профессиональный опыт взаимодействия с детьми, лучше распознают эмоциональное состояние детей с РАС и ТР детей, что подтверждает данные, полученные в исследовании (Ляксо и др., 2021). Аудиторы младшего возраста лучше распознают эмоциональное состояние ТР детей, различий в распознавании эмоционального состояния детей с РАС не выявлено. В исследовании (Paulmann et al., 2008) на материале взрослой актёрской речи было показано, что молодые аудиторы лучше распознают эмоциональные состояния по сравнению с аудиторами среднего возраста.

Выявлено влияние ведущего полушария по речи на распознавание эмоционального состояния детей: аудиторы с ведущим левым полушарием лучше распознают эмоциональное состояние ТР детей, но не детей с РАС. Вероятно, при определении эмоционального состояния ТР детей аудиторы опираются в первую очередь на семантику высказывания, в то время как значение реплик детей с РАС не всегда может быть понятно вне контекста ситуации.

Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают состояние комфорта и нейтральное у ТР детей, но лучше — состояние дискомфорта. В других исследованиях влияния тревожности на распознавание эмоций получены схожие данные: люди с высоким уровнем тревожности хуже распознают позитивные эмоциональные проявления, и лучше — негативные как по лицевой экспрессии (Kang et al., 2019), так и по речевым сигналам (Koizumi et al., 2011; Neffer et al., 2022), однако имеются данные, согласно которым высокий уровень тревожности негативно влияет на точность распознавания эмоционального состояния по речи в целом (Tseng et al., 2017).

Таким образом, в проведённом исследовании показано влияние возраста, пола, бытового и профессионального опыта аудитора на распознавание им лексического значения слов детей, психоневрологического и эмоционального состояния детей с РАС и ТР детей. Показано влияние порогов слуха и ведущего полушария по речи аудитора на распознавание лексического значения слов ТР детей и психоневрологического состояния детей с РАС. Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают лексическое значение слов и психоневрологическое состояние детей, но лучше — состояние дискомфорта у ТР детей. В проведённом исследовании впервые проанализирована связь между уровнем тревожности, возрастом аудиторов и их способностью к распознаванию информации, содержащейся в речевых сигналах детей.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что взрослые правильно распознают лексическое значение 65% слов детей с РАС и 84% слов ТР детей. Значение слов детей с РАС лучше распознают аудиторы женского пола, чем аудиторы мужского пола. Аудиторы старшей возрастной группы лучше распознают лексическое значение слов детей с РАС. Аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают лексическое значение слов ТР детей. Вероятность распознавания лексического значения слов детей связана с акустическими характеристиками: длительностью ударного гласного и значениями ЧОТ по слову и гласному.

2. Показано, что точность распознавания взрослыми психоневрологического состояния детей выше по фразам, чем по отдельным словам. Состояние ТР детей взрослые распознают лучше, чем состояние детей с РАС. Аудиторы с бытовым и профессиональным опытом взаимодействия с детьми лучше распознают психоневрологическое состояние детей с РАС и ТР детей. Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают психоневрологическое состояние детей. Психоневрологическое состояние детей с РАС лучше определяют аудиторы мужского пола, аудиторы с ведущим полушарием по речи — левым, с низкими порогами слуха. Речевые сигналы, классифицированные аудиторами как принадлежащие детям с атипичным развитием, представлены одиночными словами или простыми фразами и характеризуются высокими значениями ЧОТ и ее вариативности, высокими значениями длительности гласных, низкой скоростью речи.

3. Показано, что точность распознавания взрослыми эмоционального состояния детей с РАС максимальная для состояний комфорта и дискомфорта, ТР детей — для состояний комфорта и нейтрального. Точность распознавания эмоционального состояния детей с РАС ниже, чем ТР детей. Аудиторы женского пола и аудиторы, имеющие опыт взаимодействия с детьми, лучше распознают эмоциональное состояние детей с РАС. Аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают состояние комфорта у детей с РАС. Аудиторы старшего возраста хуже определяют состояние дискомфорта у ТР детей. Аудиторы с ведущим левым полушарием по речи лучше распознают эмоциональное состояние ТР детей. Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают состояние комфорта и нейтральное ТР детей, лучше — состояние дискомфорта. Речевые сигналы детей, отражающие состояние комфорта и дискомфорта, отличаются от сигналов, отражающих нейтральное состояние, длительностью фраз, слов и гласных, значениями и вариативностью ЧОТ по фразе слову и гласному.

Таким образом, в работе показана способность взрослых к распознаванию лексического значения слов ТР детей и детей с РАС, психоневрологического и эмоционального состояния детей. Установлено, что аудиторы женского пола лучше распознают лексическое значение слов детей с РАС, мужского пола — психоневрологическое состояние детей с РАС и состояние дискомфорта детей с РАС. Аудиторы старшего возраста лучше распознают лексическое значение слов детей с РАС и хуже — эмоциональное состояние ТР детей. Аудиторы с бытовым и профессиональным опытом взаимодействия с детьми лучше распознают психоневрологическое и эмоциональное состояние детей. Аудиторы с низкими порогами слуха лучше распознают лексическое значение слов ТР детей и психоневрологическое состояние детей с РАС. Аудиторы с ведущим левым полушарием по речи лучше определяют психоневрологическое состояние детей с РАС. Аудиторы с высоким уровнем тревожности хуже распознают лексическое значение слов детей с РАС, психоневрологическое состояние детей с РАС и ТР детей; состояние комфорта и нейтральное ТР детей, лучше — состояние дискомфорта.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КЛП — коэффициент латерального предпочтения

ПФЛА — профиль функциональной латеральной асимметрии

РАС — расстройства аутистического спектра

ТР — типичное развитие

ЧОТ — частота основного тона

ЧСС — частота сердечных сокращений

ЭКГ — электрокардиограмма

VAI — индекс артикуляции гласных (vowel articulation index)

UAR — невзвешенная средняя полнота (unweighted average recall)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батуев А.С. Физиология высшей нервной деятельности и сенсорных систем: учебник для вузов / А.С. Батуев. — 3-е изд. — СПб: Питер, 2009. — 317 с.
2. Белякова Л.И. Логопедия. Дизартрия / Л.И. Белякова, Н.Н. Волоскова. — М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2009. — 287 с.
3. Белякова Л.И. Механизм речедвигательного акта в свете логопедического анализа / Л.И. Белякова, Ю.О. Филатова // Речь ребенка: проблемы и решения / под ред. Т.Н. Ушаковой. — М.: Институт психологии РАН, 2008. — С. 40–54.
4. Бондарко Л.В. Фонетика современного русского языка / Л.В. Бондарко. — СПб: Издательство СПбГУ, 1998. — 276 с.
5. Вартамян И.А. Нейрофизиологические основы речевой деятельности / И.А. Вартамян // Механизмы деятельности мозга человека. Часть 1. Нейрофизиология человека / Под ред. Н.П. Бехтеревой. — Л.: Наука, 1988. — С. 608–667.
6. Галунов В.И. Взаимодействие двух полушарий в процессе обработки речевой информации / В.И. Галунов, И.В. Королева, Г.Г. Шургая // Акустика речи и слуха / Под ред. Л.А. Чистович. — Л.: Наука, 1986. — С. 127–143.
7. Григорьев А.С., Городный В.А. Влияние психофизиологических показателей испытуемых на успешность распознавания речевого материала в перцептивном эксперименте // Труды Всероссийской акустической конференции: Материалы III Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 21–25 сентября 2020 года. 2020. — С. 708–712.
8. Григорьев А.С., Ляксо Е.Е. Акустические характеристики гласных из слов детей 14–16 лет // Ученые записки физического факультета Московского Университета. 2017. — № 5.
9. Григорьев А.С., Ляксо Е.Е. Слуховое восприятие слов детей 5–8 лет // Сенсорные системы. 2014. — № 3. — С. 28–35.
10. Деркач М.Ф. Динамические спектры речевых сигналов / М.Ф. Деркач, Р.Я. Гумецкий, Б.М. Губа, М.Е. Чабан. — Львов: Высшая школа, 1983 — 168 с.
11. Дурягин П.В., Фокина М.В. Восприятие просодии безличных фраз со значением отказа носителями русского языка: лингвистический и паралингвистический аспекты // Вестник Томского государственного университета. Филология. 2021. — №69. — С. 94–121.
12. Зиндер Л.Р. Общая фонетика / Л.Р. Зиндер. — М.: Высшая школа, 1979. — 312 с.

13. Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Общая фонетика / С.В. Кодзасов, О.Ф. Кривнова. — М.: Изд-во Российского государственного гуманитарного университета, 2001. — 592 с.
14. Кривнова О.Ф., Князев С.В., Смирнова О.С. Интонационное членение и сегментирующая сила словоразделов в звучащем тексте (данные перцептивного эксперимента) // Труды института русского языка им. В.В. Виноградова. 2018. — № 17. — С. 128–140.
15. Лебединская К.С., Никольская О.С. Диагностика раннего детского аутизма: начальные проявления / К.С. Лебединская, О.С. Никольская. — М.: Просвещение, 1991. — 53 с.
16. Львов М.Р. Основы теории речи / М.Р. Львов. — М.: Издательский центр «Академия», 2002 — 248 с.
17. Ляксо Е.Е. Невербальные вокализации младенцев на ранних этапах “доречевого” периода развития // Новости отоларингологии и логопатологии. 1998. — №4 (16). — С. 23–31.
18. Ляксо Е.Е., Фролова О.В., Смирнов А.Г., Куражова А.В., Гайкова Ю.С., Бедная Е.Д., Григорьев А.С. Уровень речевого развития детей на этапе формирования навыка чтения // Психологический журнал. 2012. — Т. 33. № 1. — С. 73–87.
19. Ляксо Е.Е. Голосовой портрет ребёнка с типичным и атипичным развитием / Е.Е. Ляксо, О.В. Фролова, С.В. Гречаный, Ю.Н. Матвеев, О.В. Верхоляк, А.А. Карпов; под ред. Е. Е. Ляксо, О. В. Фроловой. — СПб: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. — 204 с.
20. Ляксо Е.Е., Григорьев А.С. Динамика длительности и частотных характеристик гласных на протяжении первых семи лет жизни детей // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2013. — №9 (99). — С. 1097–1110.
21. Ляксо Е.Е., Огородникова Е.А., Алексеев Н.П. Психофизиология слухового восприятия: учебное пособие / Е.Е. Ляксо, Е.А. Огородникова, Н.П. Алексеев. — СПб.: СПбГИПСР, 2013. — 111 с.
22. Ляксо Е.Е., Огородникова Е.А., Алексеев Н.П. Физиология слуха и речи: учебно-методическое пособие / Е.Е. Ляксо, Е.А. Огородникова, Н.П. Алексеев. — СПб: Речь, 2012. — 168 с.
23. Ляксо Е.Е., Столярова Э.И. Специфика реализации речевых навыков 4–5-летних детей в диалоге // Психологический журнал. 2008. — Т. 29. № 3. — С. 48–57.
24. Ляксо Е.Е., Фролова О.В., Григорьев А.С., Городный В.А. Особенности речи, физиологические и психофизиологические характеристики детей с расстройствами

- аутистического спектра // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2018. — № 5 (104). — С. 600–615.
25. Ляксо Е.Е., Фролова О.В., Григорьев А.С., Соколова В.Д., Яроцкая К.А. Распознавание взрослыми эмоционального состояния типично развивающихся детей и детей с расстройствами аутистического спектра // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2016. — № 6 (102). — С. 729–741.
26. Ляксо Е.Е., Фролова О.В., Николаев А.С., Григорьев А.С. Перцептивный анализ взрослыми речи детей с расстройствами аутистического спектра, синдром Дауна, умственной отсталостью // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2021. — №11 (107). — С. 1395–1407.
27. Ляксо Е.Е., Фролова О.В., Николаев А.С., Городный В.А., Григорьев А.С., Куражова А.В. Пол, возраст, состояние ребёнка: перцептивное исследование речи детей 8–9 лет типично развивающихся, с расстройствами аутистического спектра и синдромом дауна // Теоретическая и прикладная лингвистика. 2020. — Т. 6. № 3. — С. 61–76.
28. Морозов В.П. Вопросы функциональной асимметрии мозга: монография / В.П. Морозов, И.А. Варганиян, В.И. Галунов; под. ред. В.П. Морозова. — Л.: Наука, 1988. — 135 с.
29. Незнанов Н.Г. Психиатрия / Н.Г. Незнанов, Ю.А. Александровский, Л.М. Барденштейн, В.Д. Вид, В.Н. Краснова, Ю.В. Попов. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 512 с.
30. Николаев А.С., Ляксо Е.Е. Распознавание взрослыми речи детей 10-14 лет с расстройствами аутистического спектра // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2020. Том 56. № 7. С. 657.
31. Николаев А.С., Фролова О.В., Городный В.А., Ляксо Е.Е. Характеристика ответных реплик детей 5–11 лет с расстройствами аутистического спектра в диалогах со взрослыми // Вопросы психолингвистики. 2019. — № 4 (42). — С. 92–105.
32. Николаев А.С., Фролова О.В., Балякова А.А., Ляксо Е.Е. Распознавание взрослыми значения слов детей с расстройствами аутистического спектра // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2018. — Т. 18. № 4. — С. 64–74.
33. Николаева Е.И. Леворукий ребенок: диагностика, обучение, коррекция / Е.И. Николаева. — СПб: ДЕТСТВО-ПРЕСС, 2005 — 128 с.
34. Розенберг Г.С. Несколько слов об индексе разнообразия Симпсона // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2007. — Т. 16. №3 (21). — С. 581–584.

35. Семянникова А.А. Расстройства аутистического спектра: классификации, определение понятий, симптомы // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. 2013. — №32. — С. 67–71.
36. Фант Г. Анализ и синтез речи / Г. Фант; пер. с англ. В.С. Лозовского и Н.В. Бахмутовой под ред. Н.Г. Загоруйко. — Новосибирск: Наука, 1970 — 167 с.
37. Ханин Ю.Л. Краткое руководство к применению шкалы реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилбергера / Ю.Л. Ханин. — Л.: ЛНИИТЕК, 1976. — 40 с.
38. Цейтлин С.Н. Язык и ребёнок. Лингвистика детской речи: учебное пособие / С.Н. Цейтлин. — М.: ВЛАДОС, 2000. — 240 с.
39. Чистович Л.А., Кожевников В.А. Речь. Артикуляция и восприятие / Л.А. Чистович, В.А. Кожевников. — М., Л.: Наука, 1965. — 241 с.
40. Ягунова Е.В. Исследование перцептивной устойчивости фонем как элементов речевой цепи // Человек говорящий: исследования XXI века / Под ред. Л.А. Вербицкой, Н.К. Ивановой. — Иваново, 2012. — С. 67–75.
41. Attwood A.S., Penton-Voak I.S., Burton A.M., Munafò M.R. Acute Anxiety Impairs Accuracy in Identifying Photographed Faces // Psychological Science. 2013. — N. 24 (8). — P. 1591–1594.
42. Ballard K.J., Djaja D., Arciuli J., James D.J.H., van Doorn J. Developmental trajectory for production of prosody: lexical stress contrastivity in children 3 to 7 years and adults // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2012. — V. 55. — P. 1716–1735.
43. Bonnef Y.S., Levanov Y., Dean-Pardo O., Lossos L., Adini Y. Abnormal speech spectrum and increased pitch variability in young autistic children // Frontiers in Human Neuroscience. 2011. — N. 4 (237). — P. 1–7.
44. Boorse J., Cola M., Plate S., Yankowitz L., Pandey J., Schultz R.T., Parish-Morris J. Linguistic markers of autism in girls: evidence of a “blended phenotype” during storytelling // Molecular Autism. 2019. — V. 10:14.
45. Boucher J. Research review: structural language in autistic spectrum disorder – characteristics and causes // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 2012. — N. 53 (3). — P. 219–233.
46. Brehm S.B., Weinrich B.D., Sprouse D.S., May S.K., Hughes M.R. An examination of elicitation method on fundamental frequency and repeatability of average airflow measures in children age 4:0 – 5:11 years // Journal of Voice. 2012. — V. 26 (6). — P. 721–725.

47. Bruckert L., Liénard J.S., Lacroix A., Kreutzer M., Leboucher G. Women use voice parameters to assess men's characteristics // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2006. — N. 273. — P. 83–89.
48. Carl M., Kent R.D., Levy E.S., Whalen D.H. Vowel acoustics and speech intelligibility in young adults with Down syndrome // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2020. — N. 63(3). — P. 674–687.
49. Carvalho G.M., Santos M.D., Pauna H.F., Guimarães A.C., Curi S.B., Jeronymo D., Porto P.R., Bianchini W.A., Castilho A.M., Sartorato E.L. Evaluation of Audiometric Thresholds and Speech Perception Sentence Test in Adults and Elderly After Cochlear Implantation // *Current Aging Science*. 2016. — N. 9 (3). — P. 224–228.
50. Chen F., Cheung C.Ch., Peng G. Linguistic tone and non-linguistic pitch imitation in children with autism spectrum disorders: A cross-linguistic investigation // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2022. — N. 52 (5). — P. 2325–2343.
51. Cleland J., Gibbon F.E., Peppé S.J., O'Hare A., Rutherford M. Phonetic and phonological errors in children with high functioning autism and Asperger syndrome // *International Journal of Speech-Language Pathology*. 2010. — N. 12 (1). — P. 69–76.
52. de Jong T.J., Hakkesteegt M.M., van der Schroeff M.P., Vroegop J.L. Communicating Emotion: Vocal Expression of Linguistic and Emotional Prosody in Children With Mild to Profound Hearing Loss Compared With That of Normal Hearing Peers // *Ear and Hearing*. 2023. — V. 10.1097.
53. Diehl J., Paul R. Acoustic and perceptual measurements of prosody production on the profiling elements of prosodic systems by children with autism spectrum disorders // *Applied Psycholinguistics*. 2013. — N. 34 (1). — P. 135–161.
54. Diehl J., Watson D., Bennetto L., McDonough J., Gunlogson C. An acoustic analysis of prosody in high-functioning autism // *Applied Psycholinguistics*. 2009. — N. 30. — P. 385–404.
55. Filipe M.G., Frota S., Castro S.L., Vicente S.G. Atypical prosody in Asperger syndrome: perceptual and acoustic measurements // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2014. — N. 44 (8). — P. 1972–1981.
56. Frenkel T.I., Bar-Haim Y. Neural activation during the processing of ambiguous fearful facial expressions: an ERP study in anxious and nonanxious individuals // *Biological Psychology*. 2011. — N. 88 (2–3). — P. 188–195.
57. Friederici A.D. Towards a neural basis of auditory sentence processing // *Trends in Cognitive Sciences*. 2002. — N. 6 (2). — P. 78–84.

58. Frolova O.V., Grechanyi S.V., Kaliev A., Grigorev A.S., Gorodnyi V.A., Nikolaev A.S., Lyakso E.E. Perceptual features of speech in children with atypical development // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2020. Том 56. № 7. С. 753.
59. Frolova O., Gorodnyi V., Nikolaev A., Grigorev A., Grechanyi S., Lyakso E. Developmental disorders manifestation in the characteristics of the child's Voice and speech: Perceptual and acoustic study // Lecture Notes in Computer Science. 2019. — V. 11658. — P. 103–112.
60. Frolova O., Nikolaev A., Grave P., Lyakso E. Speech Features of Children with Mild Intellectual Disabilities // Companion Publication of the 25th International Conference on Multimodal Interaction (ICMI '23 Companion). 2023. — P. 406–413.
61. Frosolini A., Fantin F., Tundo I., Pessot N., Badin G., Bartolotta P., Vedovelli L., Marioni G., de Filippis C. Voice Parameters in Children With Cochlear Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis // Journal of voice. 2023. — S0892-1997(23)00021-8.
62. Fusaroli R., Lambrechts A., Bang D., Bowler D.M., Gaigg S.B. Is voice a marker for Autism spectrum disorder? A systematic review and meta-analysis // Autism Research. 2017. — N. 10 (3). — P. 384–407.
63. García-Guerrero M.A., Peña J., Zubiaurre-Elorza L., Benítez D., Hernández A.M., Oribe A., Ojeda, N. Voice, Body Cues and Facial Expression in Emotion Recognition of Spanish Children and Adolescents: The Validation of Bell-Lysaker Emotion Recognition Test // The Spanish journal of psychology. 2022. — V. 25: e7.
64. Gelfer M.P. Perceptual attributes of voice: Development and use of rating scales // Journal of Voice. 1988. — N. 2. — P. 320–326.
65. Goy H., Pichora-Fuller M.K., van Lieshout P. Effects of age on speech and voice quality ratings // Journal of the Acoustical Society of America. 2016. — N. 139 (4). — P. 1648.
66. Grigorev A., Frolova O., Lyakso E. Acoustic Features of Speech of Typically Developing Children Aged 5–16 Years // Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2018. Communications in Computer and Information Science. 2018. — V. 930.
67. Grigorev A., Kurazhova A., Kleshnev E., Nikolaev A., Frolova O., Lyakso E. An Electroglottographic Method for Assessing the Emotional State of the Speaker // Lecture Notes in Computer Science. 2022. — V. 13721. — P. 214–225.
68. Grosbras M.H., Ross P.D., Belin, P. Categorical emotion recognition from voice improves during childhood and adolescence // Scientific reports. 2018. — V. 8(1): 14791.

69. Grossman R.B., Edelson L.R., Tager-Flusberg H. Emotional facial and vocal expressions during story retelling by children and adolescents with high-functioning autism // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2013. — V. 56 (3). — P. 1035–1044.
70. Hagberg B., Aicardi J., Dias K., Ramos O. A progressive syndrome of autism, dementia, ataxia, and loss of purposeful hand use in girls: Rett's syndrome: report of 35 cases. // *Annals of neurology*. 1983. — V. 14. N. 4. — P. 471–479.
71. Hatch B., Iosif A.M., Chuang A., de la Paz L., Ozonoff S., Miller M. Longitudinal Differences in Response to Name Among Infants Developing ASD and Risk for ADHD // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2021. — N. 51 (3). — P. 827–836.
72. Harrop C., Tomaszewski B., Putnam O., Klein C., Lamarche E., Klinger L. Are the diagnostic rates of autistic females increasing? An examination of state-wide trends // *Journal of Child Psychology and Psychiatry* — Published online January 5, 2024. doi:10.1111/jcpp.13939
73. Heffer N., Gradidge M., Karl A., Ashwin C., Petrini K. High trait anxiety enhances optimal integration of auditory and visual threat cues // *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2022. — V. 74:101693.
74. Hoit J. Hixon T., Watson P., Morgan W. Speech breathing in children and adolescents // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 1990. — N. 33. — P. 51–69.
75. Hoppe U., Hast A., Hocke T. Speech Perception in Bilateral Hearing Aid Users with Different Grades of Asymmetric Hearing Loss // *Frontiers in Neuroscience*. 2022. — V. 15:715660.
76. Jiang X., Paulmann S., Robin J., Pell M.D. More than accuracy: Nonverbal dialects modulate the time course of vocal emotion recognition across cultures // *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*. 2015. — N. 41(3). — P. 597–612.
77. Jones H.N., Crisp K.D., Kuchibhatla M., Mahler L., Risoli Th. Jr., Jones C.W., Kishnani P. Auditory-perceptual speech features in children with Down syndrome // *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*. 2019. — N. 124 (4). — P. 324–338.
78. Juremi N.R., Zulkifley M.A., Hussain A., Zaki W. Inter-rater reliability of actual tagged emotion categories validation using Cohen's Kappa coefficient // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2017. — V. 95. N. 2. — P. 259–264.
79. Kang W., Kim G., Kim H., Lee S.H. The Influence of Anxiety on the Recognition of Facial Emotion Depends on the Emotion Category and Race of the Target Faces // *Experimental neurobiology*. 2019. — N. 28 (2). — P. 261–269.

80. Kanner L. Autistic Disturbances of Affective Contact // *Nervous Child*. 1943. — N. 2. — P. 217–250.
81. Kaya H., Salah A.A., Karpov A., Frolova O., Grigorev A., Lyakso E. Emotion, age, and gender classification in children's speech by humans and machines. *Computer Speech & Language*. 2017. — N. 46. — P. 268–283.
82. Kelley E., Paul J.J., Fein D., Naigles L.R. Residual language deficits in optimal outcome children with a history of autism // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2006. — N. 36 (6). — P. 807–828.
83. Kent R.D. Perceptual sensorimotor speech examination for motor speech disorders // *Clinical management of sensorimotor speech disorders*. — Thieme, 2009. — P.19–29.
84. Kent R.D, Vorperian H.K. Speech impairment in Down syndrome: a review // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2013. — N. 56. — P. 178–210.
85. Kimura D. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli. *Canadian Journal of Psychology*. 1961. — N. 15 (3). P. 166–171.
86. Koizumi A., Tanaka A., Imai H., Hiramatsu S., Hiramoto E., Sato T., de Gelder B. The effects of anxiety on the interpretation of emotion in the face-voice pairs // *Experimental Brain Research*. 2011. — N. 213 (2–3). — P. 275–282.
87. Kuhl P. K., Meltzoff A.N. Infant vocalizations in response to speech. Vocal imitation and developmental change // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1996. — V. 100. — N. 4. — P. 2425–2438.
88. Landis J.R., Koch G.G. The measurement of observer agreement for categorical data // *Biometrics*. 1977. — V. 33. N. 1. — P. 159–174.
89. Lausen A., Schacht A. Gender differences in the recognition of vocal emotions // *Frontiers in Psychology*. 2018. — N. 9. — P. 882.
90. Lee S. Iverson G.K. The development of monophthongal vowels in Korean: age and sex differences // *Clinical Linguistics & Phonetics*. 2008. — V. 22 (7). — P. 523–536.
91. Lee S. Potamianos A., Narayanan S. Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters // *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1999. — V. 105. — P. 1455–1468.
92. Liberman A., Cooper F., Shankweiler D., Studdert-Kennedy M. Perception of the speech code // *Psychological Review*. 1967. — V. 74. — P. 31–61.
93. Loveall S.J., Hawthorne K., Gaines M. A meta-analysis of prosody in autism, Williams syndrome, and Down syndrome // *Journal of communication disorders*. 2021. — V. 89: 106055.

94. Lyakso E.E., Frolova O.V. Early development indicators predict speech features of autistic children // ICMI '20 Companion: Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction. 2020. — P. 514–521.
95. Lyakso E., Frolova O., Grigorev A. Perception and acoustic features of speech of children with autism spectrum disorders // Lecture Notes in Computer Science. 2017. — V. 10458. — P. 602–612.
96. Lyakso E., Frolova O., Grigorev A., Gorodnyi V., Nikolaev A. Strategies of Speech Interaction between Adults and Preschool Children with Typical and Atypical Development // Behavioral Sciences. 2019. — V. 9 (12): 159.
97. Lyakso E.E., Frolova O.V., Grigorev A., Gorodnyi V., Nikolaev A., Kurazhova A.V. Speech Features of 13–15-Year-Old Children with Autism Spectrum Disorders // Lecture Notes in Computer Science. 2020. — V. 12335. — P. 291–303.
98. Lyakso E., Frolova O., Grigorev A., Gorodnyi V., Nikolaev A., Matveev Y. Speech Features of Adults with Autism Spectrum Disorders and Mental Retardation // Lecture Notes in Computer Science. 2018. — V. 11096. — P. 357–366.
99. Lyakso E., Frolova O., Gorodnyi V., Grigorev A., Nikolaev A., Matveev Y. Reflection of the emotional state in the characteristics of voice and speech of children with Down syndrome // 10th International Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue, SpeD. 2019. — P. 1–6.
100. Lyakso E., Frolova O., Karpov A. A New Method for Collection and Annotation of Speech Data of Atypically Developing Children // Proceedings — 2018 International Conference on Sensor Networks and Signal Processing. SNSP 2018. 2019. — P. 175–180.
101. Lyakso E., Frolova O., Matveev A., Matveev Y., Grigorev A., Makhnytina O., Nersisson R. Recognition of the Emotional State of Children with Down Syndrome by Video, Audio and Text Modalities: Human and Automatic // Speech and Computer: 24th International Conference, SPECOM 2022. Proceedings. 2022. — P. 438–450.
102. Lyakso E., Frolova O., Nikolaev A. Voice and speech features as a diagnostic symptom // Psychological Applications and Trends 2021. 2021. — P. 359–363.
103. Lyakso E., Frolova O., Nikolaev A., Grechanyi S., Matveev A., Matveev Y., Makhnytina O., Nersisson R. Emotional state of children with ASD and Intellectual Disabilities: perceptual experiment and automatic recognition by video, audio and text modalities // Lecture Notes in Computer Science. 2023. — V. 14338. — P. 535–549.
104. Lyakso E.E., Frolova O.V., Nikolaev A.S., Grigorev A.S. Perceptual Analysis by Adults of the Speech of Children with Autism Spectrum Disorders, Down's Syndrome,

- and Intellectual Disabilities // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2022. — V. 52 (4). — P. 582–590.
105. Lyakso E., Frolova O., Nikolaev A., Kleshnev E., Grave P., Ilyas A., Makhnytina O., Nersisson R., Mekala A.M., Varalakshmi M. Recognition of the Emotional State of Children by Video and Audio Modalities by Indian and Russian Experts // *Lecture Notes in Computer Science*. 2023. — V. 14338. — P. 469–482.
106. Lyakso E., Frolova O., Nersisson R., Mekala A.M. Child's Emotional Speech Classification by Human Across Two Languages: Russian & Tamil // *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. — V. 12997. — P. 384–396.
107. Lyakso E., Gromova A. The acoustic characteristics of Russian vowels in children of 4 and 5 years of age // *Psychology of Language and Communication*. 2005. — V. 9. N. 2. — P. 5–14.
108. Lyakso E., Nersisson R., Frolova O., Mekala M.A. The children's emotional speech recognition by adults: Cross-cultural study on Russian and Tamil language // *PLoS ONE*. 2023. — N. 18 (2): e0272837.
109. Madison A., Vasey M., Emery C.F., Kiecolt-Glaser J.K. Social anxiety symptoms, heart rate variability, and vocal emotion recognition in women: evidence for parasympathetically-mediated positivity bias // *Anxiety, stress, and coping*. 2021. — N. 34 (3). — P. 243–257.
110. Makhnytina O., Grigorev A., Nikolaev A. 2021. Analysis of Dialogues of Typically Developing Children, Children with Down Syndrome and ASD Using Machine Learning Methods // *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. — V. 12997. — P. 397–406.
111. Markova D., Richer L., Pangelian M., Schwartz D., Leonard G., Perron M., Pike G.B., Veillette S., Chakravarty M., Pausova Z., Paus T. Age- and sex-related variations in vocal-tract morphology and voice acoustic during adolescence // *Hormones and Behavior*. 2016. — P. 84–96.
112. Mattys S.L., Seymour F., Attwood A.S., Munafò M.R. Effects of acute anxiety induction on speech perception: Are anxious listeners distracted listeners? // *Psychological Science*. 2013. — N. 24 (8). — P. 1606–1608.
113. Matveev A., Matveev Y., Frolova O., Nikolaev A., Lyakso E. A Neural Network Architecture for Children's Audio-Visual Emotion Recognition // *Mathematics*. 2023. — V. 11 (22): 4573.
114. Matveev Y., Lyakso E., Matveev A., Frolova O., Grigorev A., Nikolaev A. Automatic Classification of the Emotional State of Atypically Developing Children //

- Proceedings of the 24 th International Congress of Acoustics. October 24 to 28. 2022 in Gyeongju, Korea (ABS-0338). 2022. — P. 1–7.
115. Matveev Y., Matveev A., Frolova O., Lyakso E., Nersisson R. Automatic Speech Emotion Recognition of Younger School Age Children // *Mathematics*. 2022. — V. 10 (14): 2373.
 116. Mazzaggio. G., Shield. A. The Production of Pronouns and Verb Inflections by Italian Children with ASD: A New Dataset in a Null Subject Language // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2020. — N. 50. — P. 1425–1433.
 117. McGregor K.K., Berns A.J., Owen A.J., Michels S.A., Duff D., Bahnsen A.J., Lloyd M. Associations between syntax and the lexicon among children with or without ASD and language impairment // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2012. — N. 42 (1). — P. 35–47.
 118. Moura C.P., Cunha L.M., Vilarinho H., Cunha M.J., Freitas D., Palha M., Pais-Clemente M. Voice parameters in children with Down syndrome // *Journal of Voice*. 2008. — N. 22. — P. 34–42.
 119. Najmi S., Kuckertz J.M., Amir N. Attentional impairment in anxiety: inefficiency in expanding the scope of attention // *Depression and anxiety*. 2012. — N. 29 (3). — P. 243–249.
 120. Nicholas J.S., Charles J.M., Carpenter L.A., King L.B., Jenner W., Spratt E.G. Prevalence and characteristics of children with autism spectrum disorders // *Annals of Epidemiology*. 2008. — N. 18 (2). — P. 130–136.
 121. O’Leary D., Lee A., O’Toole C., Gibbon F. Perceptual and acoustic evaluation of speech production in Down syndrome: A case series // *Clinical Linguistics & Phonetics*. 2020. — N. 34 (1–2). — P. 72–91.
 122. Pacheco-Unguetti A.P, Acosta A., Callejas A., Lupiáñez J. Attention and anxiety: different attentional functioning under state and trait anxiety // *Psychological Science*. 2010. — N. 21 (2). — P. 298–304.
 123. Patel S.P, Nayar K., Martin G.E., Franich K., Crawford S., Diehl J.J., Losh M. An Acoustic Characterization of Prosodic Differences in Autism Spectrum Disorder and First-Degree Relatives // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2020. — N. 50 (8). — P. 3032–3045.
 124. Paul R., Augustyn A., Klin A., Volkmar F. Perception and production of prosody by speakers with autism spectrum disorders // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2005. — N. 35. — P. 205–220.

125. Paulmann S., Pell M.D., Kotz S.A. How aging affects the recognition of emotional speech // *Brain and Language*. 2008. — N. 104. — P. 262–269.
126. Perrachione T.K., Chiao J.Y., Wong P.C.M. Asymmetric cultural effects on perceptual expertise underlie an own-race bias for voices // *Cognition*. 2010. — N. 114. — P. 42–55.
127. Purnell T., Idsardi W., Baugh J. Perceptual and phonetic experiments on American English dialect identification // *Journal of Language and Social Psychology*. 1999. — N. 18. — P. 10–30.
128. Rapin I., Dunn M.A., Allen D.A., Stevens M.C., Fein D. Subtypes of language disorders in school-age children with autism // *Developmental Neuropsychology*. 2009. — N. 34 (1). — P. 66–84.
129. Redford M.A., Kapatsinski V., Cornell-Fabiano J. Lay Listener Classification and Evaluation of Typical and Atypical Children's Speech // *Language and Speech*. 2018. — N. 61 (2). — P. 277–302.
130. Rockwell P. Lower, slower, louder: Vocal cues of sarcasm // *Journal of Psycholinguistic Research*. 2000. — V. 29. — P. 483–495.
131. Rossi N.F., Giacheti C.M. Association between speech-language, general cognitive functioning and behaviour problems in individuals with Williams syndrome // *Journal of intellectual disability research*. 2017. — V. 61(7). — P. 707–718.
132. Roy N., Nissen S.L., Dromey C., Sapir S. Articulatory changes in muscle tension dysphonia: Evidence of vowel space expansion following manual circumlaryngeal therapy // *Journal of Communication Disorders*. 2009. — N. 42 (2). — P. 124–135.
133. Sanders L.D., Neville H.J., Woldorff M.G. Speech segmentation by native and non-native speakers: the use of lexical, syntactic, and stress-pattern cues // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2002. — N. 45(3). — P. 519–30.
134. Sharrer L., Christman U. Voice Modulations in German Ironic Speech // *Language and Speech*. 2011. — V. 54. N. 4. — P. 435–465.
135. Scherer K.R., Scherer U. Assessing the ability to recognize facial and vocal expressions of emotion: construction and validation of the emotion recognition index // *Nonverbal Behavior*. 2011. — N. 35. — P. 305–326.
136. Schoen E., Paul R., Chawarska K. Phonology and vocal behavior in toddlers with autism spectrum disorders // *Autism Research*. 2011. — N. 4 (3). — P. 177–188.
137. Schölderle T., Haas E., Ziegler W. Speech Naturalness in the Assessment of Childhood Dysarthria // *American journal of speech-language pathology*. 2023. — N. 32(4). — P. 1633–1643.

138. Schopler E., Reichler R.J., DeVellis R.F., Daly K. Toward objective classification of childhood autism: Childhood Autism Rating Scale (CARS) // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 1980. — N. 10 (1). — P. 91–103.
139. Sharda M., Subhadra T.P., Sahaya S., Nagaraja Ch., Singh L., Mishra R., Sen A., Singhal N., Erickson D., Singh N. Sounds of melody — Pitch patterns of speech in autism. *Neuroscience Letters*. 2010. — N. 478 (1) — P. 42–45.
140. Shriberg L.S., Paul Rh., Black L.M., van Santenc J.P. The Hypothesis of apraxia of speech in children with autism spectrum disorder // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2011. — N. 41 (4). — P. 405–426.
141. Smith S.L., Pichora-Fuller M.K., Wilson R.H., Macdonald E.N. Word recognition for temporally and spectrally distorted materials: the effects of age and hearing loss // *Ear & Hearing*. 2012. — N. 33 (3). — P. 349–366.
142. Spielberger C.D., Gorsuch R.L., Lushene R.E. STAI Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. — Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1970.
143. Spille C., Kollmeier B., Meyer B.T. Comparing human and automatic speech recognition in simple and complex acoustic scenes // *Comput. Speech Lang.* 2018. — V. 52. C. — P. 123–140.
144. Tek S., Mesite L., Fein D., Naigles L. Longitudinal analyses of expressive language development reveal two distinct language profiles among young children with autism spectrum disorders // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2014. — N. 44 (1). — P. 75–89.
145. Terzi A., Marinis T., Zafeiri A., Francis K. Subject and Object Pronouns in High-Functioning Children with ASD of a Null-Subject Language // *Frontiers in Psychology*. 2019. — V. 10:1301.
146. Tseng H.H., Huang Y.L., Chen J.T., Liang K.Y., Lin C.C., Chen S.H. Facial and prosodic emotion recognition in social anxiety disorder // *Cognitive neuropsychiatry*. 2017. — N. 22 (4). P. 331–345.
147. Verkhodanova V., Trckova D., Coler M., Lowie W. More than words: Cross-linguistic exploration of Parkinson's disease identification from speech // *Lecture Notes in Computer Science*. 2020. — V. 12335. — P. 613–623.
148. Volkmar F.R., Nelson D.S. Seizure disorders in autism // *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*. 1990. — V. 29. — P. 127–129.
149. Vorperian H. Kent R. Vowel Acoustic Space Development in Children: A Synthesis of Acoustic and Anatomic Data // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2007. — V. 50 (6). — P. 1510–1545.

150. Walenski M., Europa E., Caplan D., Thompson C.K. Neural networks for sentence comprehension and production: An ALE-based meta-analysis of neuroimaging studies // *Human Brain Mapping*. 2019. — N. 40 (8). — P. 2275–2304.
151. Ward G., Hirschberg J. Implicating Uncertainty: The Pragmatics of Fall-Rise Intonation // *Language*. 1985. — V. 61. N. 4. — P. 747–76.
152. Watson L.R., Patten E., Baranek G.T., Poe M., Boyd B.A., Freuler A., Lorenzi, J. Differential associations between sensory response patterns and language, social, and communication measures in children with autism or other developmental disabilities // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2011. — N. 54 (6). — P. 1562–76.
153. Wilson S.M., Saygin A.P., Sereno M.I., Iacoboni M. Listening to speech activates motor areas involved in speech production // *Nature Neuroscience*. 2004. — N. 7 (7). — P. 701–702.
154. Wing L. Asperger syndrome: a clinical account // *Psychological Medicine*. 1981. — N. 11(1). — P. 115–129.
155. Wing L. The Definition and Prevalence of Autism: A Review // *European Child & Adolescent Psychiatry*. 1993. — N. 2(1). — P. 61–74.
156. Wolk L., Brennan C. Phonological difficulties in children with autism: an overview // *Speech, Language and Hearing*. 2016. — N. 19 (2). — P. 121–129.