
НЕЙРОНАУКИ NEUROSCIENCES

Центральные слуховые расстройства: причины, симптомы и способы преодоления дефицита в условиях учебного процесса

Фадеев К.А.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2480-5527>, e-mail: fadeevk.fefu@gmail.com*

Орехова Е.В.

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0950-1613>, e-mail: orekhova.elena.v@gmail.com*

Центральные слуховые расстройства (ЦСР) — это нарушения способности распознавать звуки, локализовать их источники и/или определять их идентичность и значение вследствие функциональных нарушений центральной слуховой системы. ЦСР может наблюдаться у людей с нормальным уровнем слуха и не является следствием высокоуровневых речевых или когнитивных нарушений. Эти расстройства мало знакомы отечественным специалистам в области коррекционной психологии, в то время как, согласно зарубежным источникам, оно наблюдается у 2—7% школьников и часто сочетается с другими нарушениями развития (дислексия, нарушения развития речи, РАС, СДВГ). В обзоре кратко описаны современные представления о ЦСР: причинах его возникновения, симптомах, подходах к диагностике. В частности, мы обращаем внимание читателей на недостаточную разработанность отечественных инструментов и практик диагностики ЦСР. Далее мы рассматриваем современные подходы к коррекции ЦСР, обращая особое внимание на ассистивные технологии, улучшающие соотношение «сигнал/шум» (ФМ-систем). Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что кроме непосредственного эффекта (улучшение понимания речи), ФМ-системы, при их достаточно продолжительном использовании, оказывают положительный отсроченный эффект, основанный на механизмах нейронной пластичности.

Ключевые слова: центральные слуховые расстройства, восприятие речи в шуме, расстройства аутистического спектра, слуховая система, фонематическое восприятие, ФМ-системы.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации № 073-00038-23-02 от 13.02.2023 г.

Для цитаты: Фадеев К.А., Орехова Е.В. Центральные слуховые расстройства: причины, симптомы и способы преодоления дефицита в условиях учебного процесса [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2023. Том 12. № 4. С. 7—21. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2023120401>

Central Auditory Processing Disorders: Causes, Symptoms, and Ways to Overcome Deficits in the Learning Environments

Kirill A. Fadeev

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2480-5527>, e-mail: fadeevk.fefu@gmail.com*

Elena V. Orekhova

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0950-1613>, e-mail: orekhova.elena.v@gmail.com*

Central Auditory Processing Disorders (CAPD) are impairments in the ability to recognize sounds, localize their sources, and/or determine their identity and meaning due to functional impairments of the central auditory system.

CAPD is observed in individuals with normal hearing levels and is not the result of high-level speech or cognitive impairment. This disorder is not well known to Russian specialists in the field of correctional psychology, while according to foreign sources it is observed in 2—7% of schoolchildren and is often combined with other developmental disorders (dyslexia, speech developmental disorders, ASD, ADHD). Here we provide a brief review of CAPD: its causes, symptoms, and approaches to diagnosis. In particular, we draw the readers' attention to the insufficient development of tools and practices for diagnosing and treating CAPD in Russia. Next, we review current approaches to the correction of CAPD, with special emphasis on assistive technologies that improve the signal-to-noise ratio (FM systems). Evidence in the literature indicates that in addition to the immediate effect (improved speech understanding), prolonged use of FM systems has a positive long-term effect based on mechanisms of neural plasticity.

Keywords: central auditory processing disorders, speech perception in noise, autism spectrum disorders, auditory system, phonemic perception, FM-systems.

Funding. The research was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Education of the Russian Federation from 13.02.2023 number 073-00038-23-02.

For citation: Fadeev K.A., Orekhova E.V. Central auditory processing disorders: causes, symptoms, and ways to overcome deficits in the learning environments. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya* = *Journal of Modern Foreign Psychology*, 2023. Vol. 12, no. 4, pp. 7—21. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2023120401> (In Russ.).

Введение

Учебный процесс в школе предполагает, что значительная часть информации передается через речь. Возможности учащихся слышать учителя могут быть ограничены как средовыми факторами, так и внутренними физиологическими причинами. К средовым факторам можно отнести уровень шума в помещении, удаленность учителя от ученика и реверберацию звука, уровень которой обычно не регулируются из-за отсутствия отечественного стандарта для учебных классов [9]. К внутренним же — дисфункцию периферического слуха, нарушение высших психических функций, а также центральные слуховые расстройства (ЦСР).

Проблемам ЦСР, связи этого нарушения с другими коморбидными расстройствами (дислексия, нарушения развития речи, расстройства аутистического спектра, синдром дефицита внимания и гиперактивности и др.), а также методам его коррекции посвящена обширная англоязычная литература (см., например: обзоры Чермак и Мусик [25]; Геффнер и Росс-Свейн [17]), в то время как в нашей стране об этом расстройстве сравнительно мало известно даже специалистам в области коррекционной психологии.

В данном мини-обзоре мы приведем краткую информацию о ЦСР (заинтересованный читатель может более подробно ознакомиться с современным исследованиями в этой области, например в книге Геффнер и Росс-Свейн [17] и в обзоре Бобошко [12]), а также расскажем о том, как ассистивные технологии могут помочь в преодолении этого дефицита.

1. Определение и описание центральных слуховых расстройств

Центральные слуховые расстройства (ЦСР) (англ. auditory processing disorder или central auditory processing

disorder) — это совокупность состояний, при которых способность распознавать звуки, локализовать их источники и/или определять их идентичность и значение нарушается вследствие функционального нарушения центральной слуховой нервной системы в результате заболевания, повреждения или нарушенного развития [61]. Симптомы ЦСР варьируют от незначительных трудностей понимания речи в шумной обстановке до полной неспособности извлекать смысл из речи, определять звуки окружающей среды или воспринимать музыку. Хотя ЦСР имеют нейрофизиологическую природу, это нарушение не связано напрямую с потерей слуха (т. е. болезнями среднего или внутреннего уха), а также не является следствием речевых, когнитивных или сопутствующих нарушений более высокого уровня [22]. Руководство Американской Академии Аудиологии [26] определяет ЦСР как истинное клиническое расстройство, отражающееся в нарушениях психоакустических и электрофизиологических показателей обработки слуховых сигналов и указывает на тесную связь ЦСР с поражениями центральной слуховой нервной системы.

Дети и взрослые с ЦСР представляют собой гетерогенную группу людей, испытывающих трудности с использованием слуховой информации для общения и обучения. Согласно Чермак и Музик [24], ЦСР наблюдаются у 2—7% школьников, т. е. достаточно широко распространены [35]. Эти нарушения чаще встречается у мальчиков, чем у девочек (отношение $\approx 2/1$) [24]. Симптомы включают трудности с локализацией звука, трудности с пониманием речи в шумной обстановке или когда речь ускорена или искажена, замедленные или неадекватные (невпопад) ответы при речевой коммуникации, невнимательность и рассеянность, проблемы с чтением и правописанием, трудности следования вербальным инструкциям [14], а также трудности адаптации речи к ситуации (говорит громче или тише, чем нужно), проблемы с запоминанием информации

на слух, слишком буквальную интерпретацию сказанного [18].

ЦСП у детей может проявляться как обособленный дефицит, но чаще сочетается с другими нарушениями развития, такими как дислексия, речевые нарушения, синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), расстройства аутистического спектра (РАС) [23; 27; 38; 55; 57]. ЦСП часто наблюдаются у детей, родившихся недоношенными [7]. В целом, ЦСП значительно чаще встречается у детей с трудностями обучения, чем в среднем в популяции [55]. Так, было показано, что около 10% детей с ЦСП страдают СДВГ [55] и более половины имеют нарушения устной речи и/или страдают дислексией [58].

Хотя подобная статистика для детей с РАС отсутствует, было показано, что многие из них испытывают трудности с восприятием речи на фоне шума [11; 38; 39] и имеют отклонения хотя бы по одному тесту на навыки слуховой обработки [38], что указывает на широкое распространение этого расстройства среди людей с РАС.

Симптомы ЦСП не являются причиной или следствием сопутствующих нарушений развития, но во многом перекрываются с симптомами этих нарушений [17]. Так, невнимательность ребенка в классе может объясняться как трудностями с пониманием инструкций и проблемами восприятия в шумной обстановке (симптомы ЦСП), так и проблемами с контролем внимания, характерными для детей с СДВГ. Для эффективной помощи конкретному ребенку необходимо разделить эффекты сенсорной обработки и когнитивных нарушений [52]. В ряде случаев, сравнение поведения ребенка в шумной и тихой обстановке может оказаться полезным для выяснения природы дефицита [17, гл. 4].

В отличие от зарубежной практики, где существует продолжительная традиция диагностики ЦСП (см. обсуждение существующих протоколов диагностики ЦСП в работе Исмен и Имануэль [40]); в русскоязычной литературе об этом нарушении известно сравнительно мало. Поскольку ЦСП рассматривается как дисфункция центральной слуховой системы, приводящая к дефициту слухового восприятия, для постановки диагноза необходимо выявить такую дисфункцию с помощью разработанных и валидизированных для этой цели инструментов [17]. В России разработан и/или опробован ряд инструментов для диагностики ЦСП [например: 4; 7; 8; 10], но они не внедрены в широкую практику. Косвенные же оценки и скрининговые инструменты (опросники, когнитивные или речевые показатели обработки устной речи, понимания, фонологической осведомленности и других подобных способностей), хотя и дают важную информацию о функционировании ребенка в естественной среде, не позволяют поставить точного диагноза [19].

Согласно стандартам Американской Ассоциации Речи, Языка и Слуха (American Speech-Language-Hearing Association), батарея тестов на ЦСП должна

включать как тесты, базирующиеся на речевом материале, так и невербальные тесты [22]. Нейрофизиологические тесты, хотя редко применяются, могут дать особенно полезную информацию о природе нарушения [17, гл. 1].

Хотя в настоящее время не существует единых стандартов диагностики ЦСП, все поведенческие/психологические батареи для диагностики ЦСП направлены на тестирование определенных навыков слухового восприятия [17, гл. 3], таких как:

- 1) способность локализовать источники звука;
- 2) способность отличать один звук от другого;
- 3) способность определять сходство и различие звуковых паттернов;
- 4) временные аспекты слуховой обработки:
 - a. степень маскировки одного звука другим, предшествующим или последующим звуком;
 - b. временное разрешение: восприятие быстро меняющихся сигналов;
 - c. временная интеграция: способность интегрировать акустическую энергию кратковременных звуков и суммировать информацию по времени или длительности;
 - d. временное упорядочивание: способность обрабатывать длительные паттерны в последовательности и воспринимать последовательность звуков;
- 5) слуховое восприятие при наличии конкурирующих акустических сигналов (шума или других речевых сигналов);
- б) слуховое восприятие при деградации акустических сигналов (например отсутствие части звукового спектра или когда звук сжат во времени).

В мире существует множество методик, направленных на определение функциональных дефицитов центральных отделов слухового анализатора. Особое внимание уделяется речевой аудиометрии. Тесты этой группы делятся на монауральные низкоизбыточные, дихотические и тесты на бинауральное взаимодействие.

Монауральные низкоизбыточные тесты оценивают способность слуховой системы восполнять недостающие компоненты деградированного речевого сигнала. К ним относятся тесты на восприятие речи на фоне шума или тесты на восприятие речи с измененным спектром, как, например, тест с низкочастотной фильтрацией речи [66]. В отечественной практике, известны тест А.И. Лопотко [2] на восприятие многосложных слов в шуме и русскоязычная версия Ольденбургского фразового теста RUMatrix [3; 5] на восприятие фразовой речи на фоне шума.

Дихотические тесты оценивают способность воспринимать различные слуховые стимулы, предъявляемые одновременно в каждое ухо. Эти тесты помогают оценить способность к бинауральной интеграции (например Dichotic Digits Test [45]) и/или, наоборот, способность воспринимать стимулы, предъявляемые в одно ухо, игнорируя при этом звуки, предъявляемые в контралатеральное ухо (например Competing Sentences Test [67]). Дихотические тесты используются, в част-

ности, для исследования межполушарной асимметрии речи [1; 17, гл. 3].

В отличие от дихотических тестов, в бинауральных тестах звук подается в уши не одновременно, а последовательно. Например, одна часть слова — в одно ухо, а другая — в другое. При этом оценивается способность слушателя интегрировать речевую информацию. В русскоязычной практике применяется аудиометрия бинаурально чередующейся речью [6].

Батарея тестов ЦСР должна также включать и неречевые стимулы. В зарубежной практике одним из самых распространенных неречевых тестов является тест на обнаружение пауз в шуме (Gaps-in-Noise Test) [34], который оценивает временное разрешение слухового восприятия. Другие примеры тестов на временную обработку — тест на определение паттернов по частоте (Frequency Patterns Test) [51] и тест на определение паттернов по длительности (Duration Patterns Test) [50]. Достоинством неречевых тестов является то, что их результаты в меньшей степени зависят от языковых навыков тестируемого. Однако использование этих тестов требует специальной аппаратуры, что осложняет их применение в широкой практике.

Согласно Американской Ассоциации Речи, Языка и Слуха, диагноз ЦСР предполагает, что результаты выполнения выходят за два стандартных отклонения ниже нормы по двум или более из использованных тестов или за три стандартных отклонения ниже нормы по одному из них [17, гл. 5].

Поскольку выполнение поведенческих тестов требует понимания инструкций и сотрудничества со стороны тестируемого, их обычно применяют в отношении пациентов с сохранным интеллектом ($IQ \geq 80$). В отличие от поведенческих тестов, нейрофизиологические показатели, такие как стволовые ответы (Auditory Brainstem Responses, ABR) на сложный звук или «ответ следования за частотой» (Frequency Following Response, FFR), не только являются информативными в плане диагностики ЦСР (см. обзоры Хорникель и Краус [37]; Геффнер и Росс-Свейн [17, гл. 5]), но и могут применяться в отношении детей с разным уровнем интеллекта. Однако нейрофизиологические тесты пока редко используются в практике для постановки диагноза ЦСР.

2. Нейроанатомический субстрат центральных слуховых расстройств

ЦСР предполагает наличие структурных дефицитов или дисфункций на одном из этапов слухового пути, от ядер улитки до слуховой коры (рис. 1). Факторами, предрасполагающими к возникновению ЦСР, являются средний экссудативный отит, задержка/депривация развития, перинатальные поражения ЦНС и любая другая патология, которая может привести к соответствующим структурным или функциональным нарушениям. В большинстве случаев точечный очаг пора-

жения отсутствует, и симптомы обусловлены диффузным поражением, а, в ряде случаев, сочетанным нарушением слуховой и когнитивной функций [17, гл. 5].

Было показано, что частые отиты в раннем детстве ведут к нарушениям проведения сигнала в стволе мозга [32] и, как следствие, к ухудшению артикуляции и других языковых навыков, несмотря на сохранность чувствительности слухового восприятия [59]. Вероятная причина такой связи — частичная депривация слуховой системы в критический для ее развития период [63]. У детей с РАС — расстройством, которое часто сочетается с ЦСР — инфекции среднего уха и связанные с ними осложнения встречаются чаще, чем в среднем по популяции [47] и могут вносить вклад в часто наблюдаемые в этой группе нарушения слухоречевого восприятия.

Примечательно, что нарушения в центральной слуховой системе часто наблюдаются у линий грызунов, являющихся животными моделями аутизма и, в зависимости от модели, затрагивают разные этапы слухового пути — от слуховых ядер ствола мозга до слуховой коры [21]. Вероятно, такие нарушения присутствуют и у людей с РАС, что подтверждается электрофизиологическими данными об изменении у них стволовых вызванных потенциалов на речевые стимулы [20], данными функциональной магнитно-резонансной томографии о сниженной активации нижнего двухолмия в ответ на речевые сигналы [56], а также данными о структурных аномалиях ядер ствола мозга, вовлеченных в обработку слуховой модальности [42].

Информация о нарушениях в центральной слуховой системе у детей с диагнозом РАС важна, поскольку указывает на то, что речевые нарушения, часто наблюдаемые у таких детей (задержка или отсутствие речи, атипичная речь), не могут полностью объясняться основными симптомами аутизма (снижение социальной мотивации, узкий фокус интересов и пр.), но, по крайней мере у ряда детей, связаны с ЦСР. Информация о наличии и степени таких специфических дефицитов слуховой обработки может помочь подобрать адекватные средства коррекции и, в конечном счете, облегчить основные симптомы РАС.

3. Способы преодоления ЦСР

Слуховая система обладает значительной пластичностью, которая сохраняется и в зрелом возрасте. Исследования на животных убедительно показали, что как тренировка слухового восприятия [60; 62], так и простое обогащение слуховой среды [30; 46] приводят к пластическим перестройкам в слуховой системе и к улучшению временной обработки информации. Так, крысы, выращенные в обогащенной слуховой среде, отличались большей амплитудой ответов слуховой коры, чем крысы, выращенные в стандартных условиях; а у взрослых животных помещение в акустически обогащенную среду приводило к изменению корковых реакций уже через 2 недели: нейроны первичной слу-

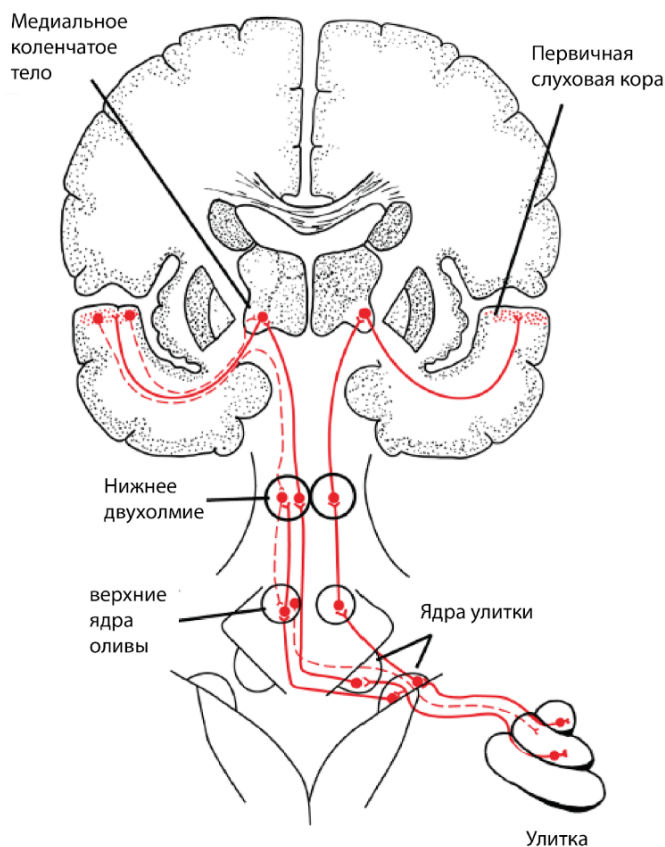


Рис. 1. Упрощенная схема слуховых путей между улиткой и первичной слуховой корой, на которой показаны некоторые подкорковые структуры, участвующие в обработке слуховых сигналов — ядра улитки, верхние ядра оливы, нижнее двухолмие, медиальное коленчатое тело, первичная слуховая кора:

сплошные красные линии показывают восходящие слуховые пути, пунктирные линии — нисходящие («кортикофугальные») слуховые пути. Нарушение на любом участке путей передачи может вызвать нарушение обработки слуховых сигналов (рисунок заимствован из статьи Патель [48])

ховой коры становились более чувствительными к тихим звукам, более избирательными к частоте тона, а также сокращался латентный период их реакции [30]. У крыс генетической линии KIA-, являющихся животной моделью дислексии, тренировка с использованием укороченных звуков речи (первые 40 мс слога) улучшила различение звуков речи, как на поведенческом уровне, так и на уровне ответа нейронов первичной слуховой коры [60]. Примечательно, что обучение может вести к пластическим перестройкам не только в коре, но и в подкорковых структурах [63].

Таким образом, нейрофизиологические данные указывают на то, что как тренировка слуховых навыков, так и обогащение слуховой среды могут помочь компенсировать ЦСР. Действительно, в мировой аудиологической практике существуют методы, положительно зарекомендовавшие себя для лечения этих расстройств. Эти методы часто применяются в комбинации и включают: 1) тренировку навыков слуховой обработки («прямая» коррекция или метод «снизу вверх»); 2) привлечение

навыков более высокого порядка (языковых навыков) для компенсации расстройства (метод «сверху вниз»); 3) модификацию среды путем улучшения соотношения «сигнал/шум» [22].

3.1. Методы, основанные на тренировке навыков

Среди методов «снизу вверх» одним из наиболее популярных и коммерчески доступных в англоязычных странах является программа для слуховой тренировки «Earobics» [29]. Она включает в себя аудиовизуальные упражнения, направленные на развитие навыков различения фонем, тренировку слуховой памяти и слухового внимания, определение слуховых последовательностей, рифмовки слов и синтез фонем (смешение отдельных звуков). Программа фокусируется на тренировке фонематических представлений и навыков слуховой обработки, необходимых для обучения чтению и правописанию. В ней используются шесть интерактивных игр с возрастающим уровнем сложности.

Другой распространенной коммерческой программой, которая доступна и в России (на английском языке), является «Fast ForWord» [31]. Эта программа ориентирована на обучение слуховым навыкам и включает уроки аудирования и различения последовательностей звуков, модули, направленные на улучшение слухового внимания и памяти, слуховой дискриминации, распознавания фонем.

Специалисты в области патологии речи часто используют подход «сверху вниз», предполагая, что тренировка навыков более высокого уровня (языковых навыков, памяти, познавательных функций), позволит ребенку с ЦСР компенсировать слуховой дефицит. Такие навыки могут, например, помочь осуществить фонематический синтез и «достроить» нерасслышанные в шумном окружении слово или фразу.

Эффекты восходящих и нисходящих стратегий, используемых в образовательном процессе для компенсации ЦСР сложно разделить. Для того чтобы изучить перенос тренируемых навыков на другую область, Мерфи и соавторы [44] провели эксперимент с использованием преимущественно одной из этих стратегий при обучении. Авторы в случайном порядке распределили типично развивающихся детей на три экспериментальные группы: 1) тренировка внимания или памяти (метод «сверху вниз»), 2) слуховая сенсорная тренировка (методов «снизу вверх»), 3) контрольная группа: плацебо (книжки-раскраски) или отсутствие тренировок. Слуховая сенсорная тренировка была сосредоточена на улучшении способности понимать речь в шуме и на слуховых невербальных навыках — способности различать и упорядочивать частоту звуков. Авторы изучали 3 типа показателей: 1) непосредственное воздействие (т. е. улучшение выполнения тех задач, которым дети обучались), 2) воздействие на тренируемую область (т. е. прогресс в выполнении других задач, но из той же области, в которой происходила тренировка) и 3) воздействие на нетренированную область (т. е. выполнение незнакомых задач из другой

области). Авторы также оценили навыки чтения и фонематическую осведомленность, которым ни одна из групп не обучалась. После двенадцати 45-минутных занятий, проводившихся в течение трех месяцев, дети во всех трех экспериментальных программах обучения продемонстрировали улучшение выполнения в тренируемых задачах. Однако воздействие на тренируемую область наблюдалось только в группе тренировки памяти, а воздействие на нетренируемую область и влияние на навыки чтения и фонематическую осведомленность не наблюдались ни в одной из групп.

Подводя итог, можно заключить, что, по крайней мере, у здоровых детей тренировка навыков слуховой обработки не ведет напрямую к улучшению речевых навыков, навыков чтения или письма, памяти и внимания. Для улучшения этих навыков требуется их непосредственная тренировка. Таким образом, тренировочные программы должны строиться индивидуально и быть направлены на коррекцию дефицита, наблюдаемого у конкретного ребенка [17, гл. 1].

3.2. Методы, основанные на оптимизации соотношения «сигнал/шум»

Учебная среда зачастую характеризуется наличием фоновых помех, таких как шум в классе, шум за окном, реверберация звука и т. п. Такие помехи особенно негативно сказываются на слухоречевом восприятии у детей с ЦСР. Очевидным решением проблемы является улучшение отношения уровня полезного сигнала (например голоса учителя), к уровню общего фонового шума. Соотношение «сигнал/шум» можно оптимизировать путем уменьшения окружающего шума (оборудованием учебного помещения звукопоглощающими материалами, уменьшением количества детей в классе и т. п.), либо увеличением уровня полезного сигнала: уменьшением расстояния между учеником и учителем или аппаратным усилением голоса учителя.

Одним из вариантов оптимизации соотношения «сигнал/шум» являются системы направленного усиления звука, использующиеся для передачи разборчивой речи и чистого аудиосигнала в общественных местах. Такие системы делятся на два основных типа: SFA (sound field amplification) и FM (frequency modulation). SFA-системы оптимизируют распределение звука в помещении, улучшая слышимость речи лектора/преподавателя для всех присутствующих в аудитории, независимо от их местонахождения. SFA-система состоит из микрофона и передатчика, находящегося у говорящего, и приемников и динамиков, находящихся в потолке, стенах, по углам или в центре помещения. В отличие от SFA-системы, FM-система состоит из передатчика с микрофоном и индивидуального приемника. Таким образом, эта технология позволяет индивидуально подобрать уровень громкости и снизить влияние любых помех, включая фоновые шумы и эхо. Для людей с ЦСР и нормальным уровнем слуха в качестве индивидуальных приемников обычно используются слуховые аппараты открытого типа (т. е.

не изолирующие ушной канал от внешних звуков), которые, с одной стороны, максимально приближают полезный сигнал (например, речь учителя), а с другой — не изолируют слушателя от звуков окружающей среды.

Потенциальную пользу ассистивных технологий в учебном процессе можно разделить на два принципиально отличных компонента: непосредственный эффект — улучшение слышимости при использовании аппарата и отсроченный эффект — эффект от длительного использования аппарата (например, в течение нескольких месяцев), который сохраняется после прекращения его использования.

3.2.1. SFA-системы

Данные об эффективности SFA-систем в процессе обучения противоречивы. Докрелл с соавторами [28] исследовали непосредственный и отсроченный эффекты применения SFA в течение 6 месяцев у 393 учащихся начальной школы. Они не обнаружили доказательств отсроченного эффекта SFA-системы на академическую успеваемость (аудирование, правописание и чтение), внимание или понимание устной речи. Таким образом, данная технология не улучшила ни одного из вербальных навыков. Однако парадоксальным образом применение этого метода улучшило невербальные навыки, оцененные тестом на скорость обработки информации. При этом улучшение этих навыков наблюдалось только в классах с плохой акустической средой.

В исследовании, посвященном эффективности SFA-систем для детей с PAC и без него, авторы пришли к выводу, что SFA-система может принести непосредственную пользу независимо от наличия диагноза [13]. Однако отсроченный эффект использования SFA-систем в течение одного семестра был неоднозначен: исследователи не показали значимого воздействия ни по одному из измеряемых параметров (фонологическая обработка, внимание, память, успеваемость).

Исследуя влияние применения SFA-систем на эмоциональное благополучие, Ренс и соавторы [53] сравнили уровень кортизола в слюне (показатель стресса) у детей с PAC при использовании SFA-системы и без нее и обнаружили, что средняя концентрация кортизола значительно снижалась во время работы SFA-системы, что, по-видимому, объясняется снижением стресса в результате улучшения акустической среды.

Очевидно, что SFA-системы имеют ряд недостатков. Во-первых, они усиливают звук на все учебное помещение, что не позволяет учитывать потребности конкретного ученика в улучшении соотношения «сигнал/шум». Во-вторых, эффективность такой системы зависит от местоположения ученика и не учитывает его возможное перемещение в помещении во время учебного занятия.

3.2.2. FM-системы

Значительно больше исследований было посвящено эффективности FM-систем при ЦСР. Шарма и соавто-

ры [57] провели рандомизированное контролируемое исследование эффекта использования ФМ-систем в комбинации с другими подходами к коррекции проблем слуховой обработки (подходы «сверху вниз» и «снизу вверх»). В течение 6 недель группы детей с подозрением на ЦСР обучались в соответствии с различными подходами: стратегией «снизу вверх» — обучение распознаванию (сегментация слов, Earobics и т. д.); стратегией «сверху вниз» — языковое обучение (составление истории по картинкам, чтение вслух и т. д.); по одной из этих стратегий, дополненной ФМ-системой. Авторы приводят доказательства положительного влияния ФМ-систем в сочетании с обоими подходами к обучению по сравнению с группами, не использовавшими ФМ-системы; пользователи ФМ-систем показали значительно большее улучшение результатов по ряду тестов, причем улучшение навыков фонологической осведомленности (сегментация слогов) наблюдалось только в группе с комбинированным подходом (подход «снизу вверх» + ФМ-система). Хотя в данном исследовании невозможно разделить эффекты обучения и использования ФМ-системы, полученные результаты свидетельствуют о том, что ее использование в классе, даже в течение относительно короткого шестинедельного периода, способствовало улучшению фонологической осведомленности у учащихся.

Ряд лабораторных исследований подтвердил эффективность использования ФМ-систем в уменьшении трудностей, связанных с восприятием речи в шуме у детей и подростков с РАС [36; 54]. Так, Су и соавторы [36] показали, что использование ФМ-систем может облегчить проблемы связанные с дефицитом восприятия речи в шуме среди детей с РАС, говорящих на китайском языке. Эти ассистивные средства оказались особенно эффективны для детей с сохранным интеллектом. Примечательно, что, помогая детям с РАС и сохранным интеллектом, ФМ-системы могут ухудшить поведение детей со сниженными невербальными когнитивными и языковыми способностями [54].

Особо важны исследования, в которых эксперимент включен непосредственно в учебный процесс. Е. Фридерихс и П. Фридерихс [33] наблюдали за 20 детьми с ЦСР (некоторые с сопутствующими расстройствами внимания) в течение 1 года и оценивали у них показатели слуховой обработки и электрофизиологические показатели. Экспериментальная группа из 10 детей носила бинауральные ФМ-системы в школе не менее 5 часов в день в течение года. В течение этого периода родители и учителя отмечали у детей, использующих ФМ-устройства, значительное улучшение понимания речи и общей успеваемости в школе, а также улучшение сопутствующего поведения. Также после шести месяцев использования ФМ-систем дети экспериментальной группы улучшили показатели выполнения двух из пяти тестов слуховой обработки (на частотное разрешение тонов и на определение порядка звуков, предъявляемых с коротким интервалом в правое и левое ухо), тогда как в контрольной

группе такого улучшения не наблюдалось. В той же работе авторы исследовали у детей корковые слуховые вызванные ответы на тоны в парадигме oddball и обнаружили более быстрое созревание компонентов вызванного слухового ответа (комплекса N1-P2) в экспериментальной группе, использовавшей ФМ-системы по сравнению с контрольной группой.

Джонстон и соавторы [43] исследовали у 10 детей с ЦСР эффект от использования бинауральных ФМ-систем дома и в школе в течение не менее 5 месяцев. Были показаны улучшение восприятия речи в шумной классной комнате, а также значительные положительные эффекты на академическую успеваемость и психологические параметры. Джонстон и соавторы также нашли отсроченный эффект длительного использования ФМ-системы. Так, при тестировании без ФМ-устройства у детей экспериментальной группы значительно улучшилось восприятие речи в тишине (но не в шумной обстановке). Авторы пришли к выводу, что улучшение соотношения «сигнал/шум» при использовании слуховых аппаратов с выносным микрофоном способствовало улучшению слухового восприятия за счет положительных пластических изменений в слуховой системе.

Хорникель и соавторы [15] опубликовали убедительные доказательства терапевтических и нейропластических эффектов ФМ-системы у детей с дислексией. При этом нарушении страдает временная согласованность (temporal precision) ответов нейронов ствола мозга на звуки, характеризующиеся тонкой временной структурой, такие как формантный переход в слогах, состоящих из согласного и гласного звуков (например, /ba/, /da/, /ga/), что ведет к потребности в более высоком соотношении «сигнал/шум» для распознавания речи. Авторы наблюдали за 38 детьми с дислексией и нормальным периферическим слухом в течение учебного года. Дети экспериментальной группы (19 детей) использовали в школе слуховые аппараты с выносным микрофоном. Девятнадцать детей контрольной группы, также страдающие дислексией и посещающие те же школы, не носили такой аппарат. У детей оценивали способность к чтению, фонологическую обработку и электрофизиологические ответы ствола мозга на слоги /ba/, /da/ и /ga/. Авторы предположили, что успешность лингвистического анализа будет связана со способностью слуховых ядер ствола мозга стабильно (т. е. с меньшими временными вариациями) передавать динамику речевого сигнала со сложными спектрально-временными характеристиками, такую как формантный переход. В начале года у детей обеих групп отмечалась неустойчивость стволовых реакций на речевые стимулы. Однако после года использования ФМ-систем в классе, дети с дислексией показали более четкие реакции ствола мозга на речь. Таких изменений не наблюдалось у детей контрольной группы, которые не использовали вспомогательные слуховые устройства. Примечательно, что улучшение фонологической обработки коррелировало с улучшением электрофизи-

ологических показателей. Таким образом, авторы доказали наличие положительного отсроченного эффекта использования слуховых аппаратов с удаленным микрофоном. Их результаты убедительно свидетельствуют о нейропластических изменениях в слуховой системе, связанных с использованием FM-систем.

Ренс и соавторы [64] применили одногрупповой сбалансированный дизайн (ABBA: чередование периодов без вмешательства — А, и с вмешательством — В) у десяти детей с РАС. Дети сообщили об уменьшении проблем с фоновым шумом и облегчении социального взаимодействия в те фазы протокола, когда происходило вмешательство. Кроме того, по мнению учителей, дети в этом исследовании продемонстрировали последовательное улучшение понимания, внимания и поведения в классе при ношении устройства. Непосредственный и отсроченный эффекты вмешательства не рассматривались в данном исследовании отдельно. Авторы, однако, отметили, что один из учеников не мог носить слуховой аппарат более нескольких минут из-за серьезных проблем с тактильной чувствительностью. Решение проблемы повышенной тактильной чувствительности, наблюдаемой у ряда детей с РАС, требует применения других технологий, которые могли бы улучшить уровень сигнала при одновременном снижении тактильного воздействия.

Шефер и соавторы [16] оценивали у детей с РАС непосредственный эффект использования FM-системы. С помощью серии опросников, направленных на выявление поведения связанного с ЦСР, и слуховых тестов они оценили навыки слуховой обработки и поведение, связанное с ЦСР до использования FM-системы и во время ее использования. Результаты этого исследования показали значительное уменьшение трудностей при прослушивании, улучшение показателей распознавания речи в шуме, а также улучшение способности учеников работать при более низком соотношении «сигнал/шум».

В другой работе эти же авторы [49] применили АВАВ-дизайн исследования (А: 1 неделя без FM-системы, В: 2 недели по 45 минут в день с FM-системой, А: 3 недели без FM и, наконец, В: 3 недели по 45 минут с FM-системой) для группы из семи детей с РАС и четырех детей с СДВГ. Было обнаружено значительное улучшение показателей распознавания речи в шуме при наблюдении за поведением детей в классе, т. е. непосредственный эффект. При этом авторы не нашли убедительных доказательств отсроченного положительного эффекта FM-системы, что, возможно, является следствием кратковременного ее использования.

Подводя итог, необходимо отметить, что FM-системы — слуховые аппараты открытого типа с дистанционным микрофоном — в настоящее время являются единственным научно доказанным методом повышения соотношения «сигнал/шум», который эффективно улучшает слуховую среду для детей с ЦСР. Эта ассистивная технология, по-видимому, может быть полезна для большинства детей с ЦСР и сохранным интеллектом. Улучшая

слышимость и четкость речи, она помогает в обучении, улучшает психосоциальную адаптацию и ведет к положительным нейропластическим изменениям и к устойчивым улучшениям слуховых навыков. Преодолевая эффекты искажений временных параметров звукового сигнала в центральной слуховой системе детей с ЦСР, такие аппараты улучшают несколько слуховых навыков одновременно.

Важным условием успешного применения слуховых аппаратов с дистанционным микрофоном в классе является сотрудничество учителей. Это сотрудничество должно быть достигнуто коллегиальным подходом, который признает и подчеркивает важность роли учителя, помогает и дает учителям возможность оптимизировать эффективность технологии. Специалист, устанавливающий ассистивные технологии, должен поддерживать связь с соответствующим персоналом школы, включая учителя, а также предоставлять консультации и помощь в следующих областях: объяснение природы ЦСР и трудностей ребенка, предложение стратегий коррекции, управление ассистивными системами, предложение методов облегчения принятия ребенком и его сверстниками ассистивных технологий, наблюдение за слуховым поведением ребенка и его поведением в классе, контроль за эффективностью ассистивных решений и, при необходимости, помощь в подготовке индивидуальных образовательных планов [41].

Заключение

ЦСР — это нарушение обработки слуховой информации в центральной слуховой системе, не связанное со снижением периферического слуха или дефицитом надмодальных функций (память, внимание, когнитивные способности) и не являющееся причиной коморбидных расстройств, таких как РАС, СДВГ и специфические расстройства речи. ЦСР может являться следствием нарушений на разных уровнях центральной слуховой нервной системы: от ядер улитки до слуховой коры больших полушарий мозга.

Слуховые аппараты открытого типа с удаленным микрофоном (FM-системы), улучшающие слышимость и четкость речи, могут оказаться полезны для большинства детей с ЦСР. Их использование не только имеет непосредственный положительный эффект, улучшая понимание речи в тишине и в шумной обстановке, но и способствует нейропластическим изменениям, ведущим к долговременному улучшению слуховых навыков. FM-системы могут дополнять другие методы коррекции, повышая их эффективность. Эта ассистивная технология в настоящее время является единственным доказанным методом повышения соотношения «сигнал/шум», эффективно помогающим детям с ЦСР. Результаты анкетирования учителей, родителей и самих учащихся, использующих FM-системы, указывают на улучшение участия детей в работе в классе и на повышение их успеваемости.

Литература

1. Бобошко М.Ю. Речевая аудиометрия: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГМУ, 2012. 64 с.
2. Лопотко А.И., Бердникова И.П., Коротков Ю.В. Аудиометрический речевой экспресс-тест // Ученые записки СПбГМУ им. академика И.П. Павлова. 2002. Том 9. № 1. С. 38—42.
3. Применение русскоязычной версии матричного фразового теста у детей / Е.С. Гарбарук, М.В. Гойхбург, А. Важыбок, Г.А. Таваркиладзе, П.В. Павлов, Б. Кольмайер // Вестник оториноларингологии. 2020. Том 85. № 1. С. 34—39. DOI:10.17116/otorino20208501134
4. Речевая аудиометрия с использованием матричного фразового теста / М.Ю. Бобошко, Е.В. Жилинская, А. Важыбок, Н.В. Мальцева, М. Цоколь, Б. Кольмейер // Вестник оториноларингологии. 2016. Том 81. № 5. С. 40—44. DOI:10.17116/otorino201681540-44
5. Русскоязычная версия матричного фразового теста RUMatrix в свободном звуковом поле у пациентов после кохlearной имплантации / М.В. Гойхбург, В.В. Бахшинян, И.П. Петрова, А. Важыбок, Б. Кольмейер, Г.А. Таваркиладзе // Вестник оториноларингологии. 2016. Том 81. № 6. С. 42—46. DOI:10.17116/otorino201681642-46
6. Рындина А.М., Бердникова И.П., Цвильева И.Д. Аудиометрия чередующимися речевыми сигналами в диагностике центральных поражений слухового анализатора // Вестник оториноларингологии. 1998. № 6. С. 13—14.
7. Савенко И.В., Гарбарук Е.С., Бобошко М.Ю. Психоакустические методы в диагностике нарушений центральной слуховой обработки у детей, родившихся недоношенными // Вестник оториноларингологии. 2020. Том 85. № 3. С. 11—17. DOI:10.17116/otorino20208503111
8. Современные аспекты детской речевой аудиометрии / М.Ю. Бобошко, И.В. Калмыкова, Е.С. Гарбарук, Ю.С. Кибалова, И.В. Савенко // Сенсорные системы. 2010. Том 24. № 4. С. 305—313.
9. СП 51.13330.2011. Защита от шума: Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 / Министерство регионального развития РФ. М.: ФЦС, 2011. 46 с.
10. Сравнительный анализ речевых тестов в диагностике центральных слуховых расстройств / М.Ю. Бобошко, Н.В. Мальцева, И.П. Бердникова, М.А. Салахбеков, Е.В. Жилинская // Вестник оториноларингологии. 2014. № 55. С. 43—44.
11. Трудности с восприятием речи на фоне шума у детей с расстройствами аутистического спектра не связаны с уровнем их интеллекта / К.А. Фадеев, Д.Э. Гояева, Т.С. Обухова, Т.М. Овсянникова, Е.Ф. Шведовский, А.Ю. Николаева, Е.Ю. Давыдова, Т.А. Строганова, Е.В. Орехова // Клиническая и специальная психология. 2023. Том 12. № 1. С. 180—212. DOI:10.17759/cpse.2023120108
12. Центральные слуховые расстройства (обзор литературы) / М.Ю. Бобошко, Е.С. Гарбарук, Е.В. Жилинская, М.А. Салахбеков // Российская оториноларингология. 2014. № 5(72). С. 87—96.
13. A preliminary investigation of sound-field amplification as an inclusive classroom adjustment for children with and without Autism Spectrum Disorder / W.J. Wilson, K. Harper-Hill, R. Armstrong, C. Downing, K. Perrykkad, M. Rafter, J. Ashburne // Journal of Communication Disorders. 2021. Vol. 93. Article ID 106142. 14 p. DOI:10.1016/j.jcomdis.2021.106142
14. Aristidou I.L., Hohman M.H. Central Auditory Processing Disorder [Электронный ресурс] // National Center for Biotechnology Information. Treasure Island: StatPearls, 2022. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587357/> (дата обращения: 04.10.2023).
15. Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia / J. Hornickel, S.G. Zecker, A.R. Bradlow, N. Kraus // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109. № 41. P. 16731—16736. DOI:10.1073/pnas.1206628109
16. Assistive technology evaluations: Remote-microphone technology for children with Autism Spectrum Disorder / E.C. Schafer, S. Wright, C. Anderson [et al.] // Journal of Communication Disorders. 2016. Vol. 64. P. 1—17. DOI:10.1016/j.jcomdis.2016.08.003
17. Auditory Processing Disorders: Assessment, Management, and Treatment / Eds. D.S. Geffner, D. Ross-Swain. 3rd ed. San Diego: Plural Publishing, 2018. 606 p.
18. Bamiou D.-E., Musiek F.E., Luxon L.M. Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders — a review // Archives of Disease in Childhood. 2001. Vol. 85. № 5. P. 361—365. DOI:10.1136/adc.85.5.361
19. Bellis T.J. Assessment and Management of Central Auditory Processing Disorders in the Educational Setting: From Science to Practice. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing, 2011. 553 p.
20. Brainstem transcription of speech is disrupted in children with autism spectrum disorders / N. Russo, T. Nicol, B. Trommer, S. Zecker, N. Kraus // Developmental Science. 2009. Vol. 12. № 4. P. 557—567. DOI:10.1111/j.1467-7687.2008.00790.x
21. Castro A.C., Monteiro P. Auditory Dysfunction in Animal Models of Autism Spectrum Disorder // Frontiers in Molecular Neuroscience. 2022. Vol. 15. Article ID 845155. 11 p. DOI:10.3389/fnmol.2022.845155
22. (Central) Auditory Processing Disorders — The Role of the Audiologist: Position Statement [Электронный ресурс] // American Speech-Language-Hearing Association (ASHA). 2005. URL: <https://www.asha.org/policy/ps2005-00114/> (дата обращения: 04.10.2023).

23. Characteristics of Auditory Processing Disorders: A Systematic review / E. de Wit, M.V. Bochane, B. Steenbergen, P. van Dijk, C.P. van der Schans, M.R. Luinge // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2016. Vol. 59. № 2. P. 384—413. DOI:10.1044/2015_jslhr-h-15-0118
24. *Chermak G.D., Musiek F.E.* Central Auditory Processing Disorders: New Perspectives. San Diego: Singular Publishing Group, 1997. 374 p.
25. *Chermak G.D., Musiek F.E.* Managing Central Auditory Processing Disorders in Children and Youth // *American Journal of Audiology*. 1992. Vol. 1. № 3. P. 61—65. DOI:10.1044/1059-0889.0103.61
26. Clinical Practice Guidelines: Diagnosis, Treatment and Management of Children and Adults with Central Auditory Processing Disorder [Электронный ресурс] / American Academy of Audiology. Reston: AAA, 2010. 51 p. URL: <https://www.audiology.org/practice-guideline/clinical-practice-guidelines-diagnosis-treatment-and-management-of-children-and-adults-with-central-auditory-processing-disorder/> (дата обращения: 04.10.2023).
27. *Dawes P., Bishop D.* Auditory processing disorder in relation to developmental disorders of language, communication and attention: a review and critique // *International Journal of Language & Communication Disorders*. 2009. Vol. 44. № 4. P. 440—465. DOI:10.1080/13682820902929073
28. *Dockrell J.E., Shield B.* The Impact of Sound-Field Systems on Learning and Attention in Elementary School Classrooms // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2012. Vol. 55. № 4. P. 1163—1176. DOI:10.1044/1092-4388(2011/11-0026)
29. Earobics // WWC Intervention Report / U.S. Department of Education. Washington: Institute of Education Sciences, 2009. 23 p.
30. Environmental Enrichment Improves Response Strength, Threshold, Selectivity, and Latency of Auditory Cortex Neurons / N.D. Engineer, C.R. Percaccio, P.K. Pandya, R. Moucha, D.L. Rathbun, M.P. Kilgard // *Journal of Neurophysiology*. 2004. Vol. 92. № 1. P. 73—82. DOI:10.1152/jn.00059.2004
31. Fast ForWord [Электронный ресурс] // Fast forHome. 2023. URL: <https://www.fastfword.com/> (дата обращения: 04.10.2023).
32. *Folsom R.C., Weber B.A., Thompson G.* Auditory Brainstem Responses in Children with Early Recurrent Middle Ear Disease // *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*. 1983. Vol. 92. № 3. P. 249—253. DOI:10.1177/000348948309200307
33. *Friederichs E., Friederichs P.* Electrophysiologic and Psycho-Acoustic Findings Following One-Year Application of a Personal Ear-Level FM Device in Children with Attention Deficit and Suspected Central Auditory Processing Disorder // *Journal of Educational Audiology*. 2005. Vol. 12. P. 31—36.
34. GIN (Gaps-In-Noise) Test Performance in Subjects with Confirmed Central Auditory Nervous System Involvement / F.E. Musiek, J.B. Shinn, R. Jirsa, D.-E. Bamiou, J.A. Baran, E. Zaida // *EAR and Hearing*. 2005. Vol. 26. № 6. P. 608—618. DOI:10.1097/01.aud.0000188069.80699.41
35. Handbook of Central Auditory Processing Disorder. Volume II: Comprehensive Intervention / Eds. F.E. Musiek, G.D. Chermak. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing, 2014. 792 p.
36. Hearing Assistive Technology Facilitates Sentence-in-Noise Recognition in Chinese Children With Autism Spectrum Disorder / S. Xu, J. Fan, H. Zhang, H. Zhao, X. Jiang, H. Ding, Y. Zhang // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2023. Vol. 66. № 8. P. 2967—2987. DOI:10.1044/2023_JSLHR-22-00589
37. *Hornickel J., Kraus N.* Objective Biological Measures for the Assessment and Management of Auditory Processing Disorder // *Current Pediatric Reviews*. 2011. Vol. 7. № 3. P. 252—261. DOI:10.2174/157339611796548438
38. Increased rate of listening difficulties in autistic children / P. James, E.C. Schafer, J. Wolfe, L. Matthews, S. Browning, J. Oleson, E. Sorensen, G. Rance, L. Shiels, A. Dunn // *Journal of Communication Disorders*. 2022. Vol. 99. Article ID 106252. 11 p. DOI:10.1016/j.jcomdis.2022.106252
39. Intact Spectral but Abnormal Temporal Processing of Auditory Stimuli in Autism / W.B. Groen, L. van Orsouw, N. ter Huurne, S. Swinkels, R.-J. van der Gaag, J.K. Buitelaar, M.P. Zwiers // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2009. Vol. 39. P. 742—750. DOI:10.1007/s10803-008-0682-3
40. *Ismen K., Emanuel D.C.* Auditory Processing Disorder: Protocols and controversy // *American Journal of Audiology*. 2023. Vol. 32. № 3. P. 614—639. DOI:10.1044/2023_aja-23-00035
41. *Keith W.J., Purdy S.C.* Assistive and Therapeutic Effects of Amplification for Auditory Processing Disorder // *Seminars in Hearing*. 2014. Vol. 35. № 01. P. 027—038. DOI:10.1055/s-0033-1363522
42. *Kulesza R.J., Lukose R., Stevens L.V.* Malformation of the human superior olive in autistic spectrum disorders // *Brain Research*. 2011. Vol. 1367. P. 360—371. DOI:10.1016/j.brainres.2010.10.015
43. Multiple benefits of personal FM system use by children with auditory processing disorder (APD) / K.N. Johnston, A.B. John, N.V. Kreisman, J.W. Hall III, C.C. Crandell // *International Journal of Audiology*. 2009. Vol. 48. № 6. P. 371—383. DOI:10.1080/14992020802687516
44. *Murphy C.F.B., Moore D.R., Schochat E.* Generalization of Auditory Sensory and Cognitive Learning in Typically Developing Children // *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10. № 8. Article ID e0135422. 17 p. DOI:10.1371/journal.pone.0135422
45. *Musiek F.E.* Assessment of Central Auditory Dysfunction: the Dichotic Digit Test Revisited // *EAR and Hearing*. 1983. Vol. 4. № 2. P. 79—83. DOI:10.1097/00003446-198303000-00002

46. Noreña A.J., Eggermont J.J. Enriched Acoustic Environment after Noise Trauma Reduces Hearing Loss and Prevents Cortical Map Reorganization // *The Journal of Neuroscience*. 2005. Vol. 25. № 3. P. 699—705. DOI:10.1523/jneurosci.2226-04.2005
47. Otitis Media and Related Complications Among Children with Autism Spectrum Disorders / D.J. Adams, A. Susi, C.R. Erdie-Lalena, G. Gorman, E. Hisle-Gorman, M. Rajnik, M. Elrod, C.M. Nylund // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2016. Vol. 46. P. 1636—1642. DOI:10.1007/s10803-015-2689-x
48. Patel A.D. Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis // *Frontiers in Psychology*. 2011. Vol. 2. Article ID 142. 14 p. DOI:10.3389/fpsyg.2011.00142
49. Personal FM systems for children with autism spectrum disorders (ASD) and/or attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD): An initial investigation / E.C. Schafer, L. Mathews, S. Mehta, M. Hill, A. Munoz, R. Bishop, M. Moloney // *Journal of Communication Disorders*. 2013. Vol. 46. № 1. P. 30—52. DOI:10.1016/j.jcomdis.2012.09.002
50. Pinheiro M.L., Musiek F.E. Screening and temporal ordering in the auditory system // *Assessment of Central Auditory Dysfunction: Foundations and Clinical Correlates* / Eds. M.L. Pinheiro, F.E. Musiek. Baltimore: Williams and Wilkins, 1985. P. 291—338.
51. Pinheiro M.L., Ptacek P.H. Reversals in the Perception of Noise and Tone Patterns // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1971. Vol. 49. № 6B. P. 1778—1782. DOI:10.1121/1.1912581
52. Practical guidelines to minimise language and cognitive confounds in the diagnosis of CAPD: a brief tutorial / G.D. Chermak, D.-E. Bamiou, V. Iliadou, F.E. Musiek // *International Journal of Audiology*. 2017. Vol. 56. № 7. P. 499—506. DOI:10.1080/14992027.2017.1284351
53. Reducing Listening-Related Stress in School-Aged Children with Autism Spectrum Disorder / G. Rance, D. Chisari, K. Saunders, J.-L. Rault // *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2017. Vol. 47. P. 2010—2022. DOI:10.1007/s10803-017-3114-4
54. Remote Microphone Systems Can Improve Listening-in-Noise Accuracy and Listening Effort for Youth With Autism / J.I. Feldman, E. Thompson, H. Davis, B. Keceli-Kaysili, K. Dunham, T. Woynaroski, A.M. Tharpe, E.M. Picou // *EAR and Hearing*. 2022. Vol. 43. № 2. P. 436—447. DOI:10.1097/aud.0000000000001058
55. Same or Different: The Overlap Between Children With Auditory Processing Disorders and Children With Other Developmental Disorders: A Systematic Review / E. de Wit, P. van Dijk, S. Hanekamp, M.I. Visser-Bochane, B. Steenbergen, C.P. van der Schans, M.R. Luinge // *EAR and Hearing*. 2018. Vol. 39. № 1. P. 1—19. DOI:10.1097/AUD.0000000000000479
56. Schelinski S., Tabas A., von Kriegstein K. Altered processing of communication signals in the subcortical auditory sensory pathway in autism // *Human Brain Mapping*. 2022. Vol. 43. № 6. P. 1955—1972. DOI:10.1002/hbm.25766
57. Sharma M., Purdy S.C., Kelly A.S. A randomized control trial of interventions in school-aged children with auditory processing disorders // *International Journal of Audiology*. 2012. Vol. 51. № 7. P. 506—518. DOI:10.3109/14992027.2012.670272
58. Sharma M., Purdy S.C., Kelly A.S. Comorbidity of Auditory Processing, Language, and Reading Disorders // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2009. Vol. 52. № 3. P. 706—722. DOI:10.1044/1092-4388(2008/07-0226)
59. Shriberg L.D., Smith A.J. Phonological Correlates of Middle-Ear Involvement in Speech-Delayed Children: A Methodological Note // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 1983. Vol. 26. № 2. P. 293—297. DOI:10.1044/jshr.2602.293
60. Speech Sound Processing Deficits and Training-Induced Neural Plasticity in Rats with Dyslexia Gene Knockdown / T.M. Centanni, F. Chen, A.M. Booker, C.T. Engineer, A.M. Sloan, R.L. Rennaker, J.J. LoTurco, M.P. Kilgard // *PLOS ONE*. 2014. Vol. 9. № 5. Article ID e98439. 14 p. DOI:10.1371/journal.pone.0098439
61. Stefanatos G.A., DeMarco A.T. Central Auditory Processing Disorders // *Encyclopedia of Human Behavior* / Ed. V.S. Ramachandran. 2nd ed. New York: Academic Press, 2012. P. 441—453. DOI:10.1016/B978-0-12-375000-6.00083-5
62. Temporal plasticity in the primary auditory cortex induced by operant perceptual learning / S. Bao, E.F. Chang, J. Woods, M.M. Merzenich // *Nature Neuroscience*. 2004. Vol. 7. № 8. P. 974—981. DOI:10.1038/nn1293
63. The descending corticocollicular pathway mediates learning-induced auditory plasticity / V.M. Bajo, F.R. Nodal, D.R. Moore, A.J. King // *Nature Neuroscience*. 2009. Vol. 13. № 2. P. 253—260. DOI:10.1038/nn.2466
64. The Use of Listening Devices to Ameliorate Auditory Deficit in Children with Autism / G. Rance, K. Saunders, P. Carew, M. Johansson, J. Tan // *The Journal of Pediatrics*. 2014. Vol. 164. № 2. P. 352—357. DOI:10.1016/j.jpeds.2013.09.041
65. Whitton J.P., Polley D.B. Evaluating the Perceptual and Pathophysiological Consequences of Auditory Deprivation in Early Postnatal Life: A Comparison of Basic and Clinical Studies // *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 2011. Vol. 12. P. 535—547. DOI:10.1007/s10162-011-0271-6
66. Willeford J.A. Assessing central auditory behavior in children: A test battery approach // *Central auditory dysfunction* / Ed. R.W. Keith. New York: Grune and Stratton, 1977. P. 43—72.
67. Willeford J.A., Burleigh J.M. Sentence procedures in central testing // *Handbook of clinical audiology* / Ed. J. Katz. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. P. 256—268.

References

1. Boboshko M.Yu. Rechevaya audiometriya: uchebnoe posobie [Speech audiometry]. St. Petersburg: Izdatel'stvo SPbGMU, 2012. 64 p. (In Russ.).
2. Lopotko A.I., Berdnikova I.P., Korotkov Yu.V. Audiometricheskii rechevoi ekspress-test [Audiometric speech express test]. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akademika I.P. Pavlova = The Scientific Notes of the Pavlov University*, 2002. Vol. 9, no. 1, pp. 38—42. (In Russ.).
3. Garbaruk E.S., Goykhuburg M.V., Warzybok A., Tavartkiladze G.A., Pavlov P.V., Kollmeier B. Primenenie russkoyazychnoi versii matriksnogo frazovogo testa u detei [Application of the matrix sentence test Russian version in children]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 2020. Vol. 85, no. 1, pp. 34—39. DOI:10.17116/otorino20208501134 (In Russ.).
4. Boboshko M.Yu., Zhilinskaia E.V., Warzybok A., Maltseva N.V., Zokoll M., Kollmeier B. Rechevaya audiometriya s ispol'zovaniem matriksnogo frazovogo testa [The speech audiometry using the matrix sentence test]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 2016. Vol. 81, no. 5, pp. 40—44. DOI:10.17116/otorino201681540-44 (In Russ.).
5. Goykhuburg M.V., Bakhshinyan V.V., Petrova I.P., Wazybok A., Kollmeier B., Tavartkiladze G.A. Russkoyazychnaya versiya matriksnogo frazovogo testa RUMatrix v svobodnom zvukovom pole u patsientov posle kokhlearnoi implantatsii [The Russian-language version of the matrix test (RUMatrix) in free field in patients after cochlear implantation in the long term]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 2016. Vol. 81, no. 6, pp. 42—46. DOI:10.17116/otorino201681642-46 (In Russ.).
6. Ryndina A.M., Berdnikova I.P., Tsvyleva I.D. Audiometriya chereduyushchimisya rechevymi signalami v diagnostike tsentral'nykh porazhenii slukhovogo analizatora [Alternating signal speech audiometry in diagnosis of central defects of the acoustic analyzer]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 1998, no. 6, pp. 13—14. (In Russ.).
7. Savenko I.V., Garbaruk E.S., Boboshko M.Yu. Psikhoakusticheskie metody v diagnostike narushenii tsentral'noi slukhovo obrabotki u detei, rodivshikhsya nedonoshennymi [Psychoacoustic methods in diagnosis of central auditory processing disorders in prematurely born children]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 2020. Vol. 85, no 3, pp. 11—17. DOI:10.17116/otorino20208503111 (In Russ.).
8. Boboshko M.Yu., Kalmykova I.V., Garbaruk E.S., Kibalova Yu.S., Savenko I.V. Sovremennye aspekty detskoj rechevoi audiometrii [Modern approach in the children speech audiometry]. *Sensornye sistemy = Sensory Systems*, 2010. Vol. 24, no. 4, pp. 305—313. (In Russ.).
9. Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma: Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-03-2003 [SP 51.13330.2011. Noise protection: Updated edition of SNIp 23-03-2003]. Moscow: FTsS, 2011. 46 p. (In Russ.).
10. Boboshko M.Yu., Mal'tseva N.V., Berdnikova I.P., Salakhbekov M.A., Zhilinskaya E.V. Sravnitel'nyi analiz rechevykh testov v diagnostike tsentral'nykh slukhovykh rasstroistv [Comparative analysis of speech tests in the diagnosis of central auditory disorders]. *Vestnik otorinolaringologii [Bulletin of Otorhinolaryngology]*, 2014, no. S5, pp. 43—44. (In Russ.).
11. Fadeev K.A., Goyaeva D.E., Obukhova T.S., Ovsyannikova T.M., Shvedovskiy E.F., Nikolaeva A.Yu., Davydova E. Yu., Stroganova T.A., Orekhova E.V. Trudnosti s vospriyatiem rechi na fone shuma u detei s rasstroistvami autisticheskogo spektra ne svyazany s urovnem ikh intellekta [Difficulty with Speech Perception in the Background of Noise in Children with Autism Spectrum Disorders is Not Related to their Level of Intelligence]. *Klinicheskaya i spetsial'naya psikhologiya = Clinical Psychology and Special Education*, 2023. Vol. 12, no. 1, pp. 180—212. DOI:10.17759/cpse.2023120108 (In Russ.).
12. Boboshko M.Yu., Garbaruk E.S., Zhilinskaia E.V., Salakhbekov M.A. Tsentral'nye slukhove rasstroistva (obzor literatury) [Central auditory processing disorders (literature review)]. *Rossiiskaya otorinolaringologiya = Russian Otorhinolaryngology*, 2014, no. 5(72), pp. 87—96. (In Russ.).
13. Wilson W.J., Harper-Hill K., Armstrong R., Downing C., Perrykkad K., Rafter M., Ashburne J. A preliminary investigation of sound-field amplification as an inclusive classroom adjustment for children with and without Autism Spectrum Disorder. *Journal of Communication Disorders*, 2021. Vol. 93, article ID 106142. 14 p. DOI:10.1016/j.jcomdis.2021.106142
14. Aristidou I.L., Hohman M.H. Central Auditory Processing Disorder [Elektronnyi resurs] // National Center for Biotechnology Information. Treasure Island: StatPearls, 2022. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587357/> (Accessed 04.10.2023).
15. Hornickel J., Zecker S.G., Bradlow A.R., Kraus N. Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012. Vol. 109, no. 41, pp. 16731—16736. DOI:10.1073/pnas.1206628109
16. Schafer E.C., Wright S., Anderson C. et al. Assistive technology evaluations: Remote-microphone technology for children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Communication Disorders*, 2016. Vol. 64, pp. 1—17. DOI:10.1016/j.jcomdis.2016.08.003
17. Geffner D.S., Ross-Swain D. (eds.). Auditory Processing Disorders: Assessment, Management, and Treatment. 3rd ed. San Diego: Plural Publishing, 2018. 606 p.

18. Bamiou D.-E., Musiek F.E., Luxon L.M. Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders — a review. *Archives of Disease in Childhood*, 2001. Vol. 85, no. 5, pp. 361—365. DOI:10.1136/adc.85.5.361
19. Bellis T.J. Assessment and Management of Central Auditory Processing Disorders in the Educational Setting: From Science to Practice. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing, 2011. 553 p.
20. Russo N., Nicol T., Trommer B., Zecker S., Kraus N. Brainstem transcription of speech is disrupted in children with autism spectrum disorders. *Developmental Science*, 2009. Vol. 12, no. 4, pp. 557—567. DOI:10.1111/j.1467-7687.2008.00790.x
21. Castro A.C., Monteiro P. Auditory Dysfunction in Animal Models of Autism Spectrum Disorder. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 2022. Vol. 15, article ID 845155. 11 p. DOI:10.3389/fnmol.2022.845155
22. (Central) Auditory Processing Disorders — The Role of the Audiologist: Position Statement [Elektronnyi resurs]. *American Speech-Language-Hearing Association (ASHA)*, 2005. URL: <https://www.asha.org/policy/ps2005-00114/> (Accessed 04.10.2023).
23. de Wit E., Bochane M.V., Steenbergen B., van Dijk P., van der Schans C.P., Luinge M.R. Characteristics of Auditory Processing Disorders: A Systematic review. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2016. Vol. 59, no. 2, pp. 384—413. DOI:10.1044/2015_jslhr-h-15-0118
24. Chermak G.D., Musiek F.E. Central Auditory Processing Disorders: New Perspectives. San Diego: Singular Publishing Group, 1997. 374 p.
25. Chermak G.D., Musiek F.E. Managing Central Auditory Processing Disorders in Children and Youth. *American Journal of Audiology*, 1992. Vol. 1, no. 3, pp. 61—65. DOI:10.1044/1059-0889.0103.61
26. American Academy of Audiology. Clinical Practice Guidelines: Diagnosis, Treatment and Management of Children and Adults with Central Auditory Processing Disorder [Elektronnyi resurs]. Reston: AAA, 2010. 51 p. URL: <https://www.audiology.org/practice-guideline/clinical-practice-guidelines-diagnosis-treatment-and-management-of-children-and-adults-with-central-auditory-processing-disorder/> (Accessed 04.10.2023).
27. Dawes P., Bishop D. Auditory processing disorder in relation to developmental disorders of language, communication and attention: a review and critique. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 2009. Vol. 44, no. 4, pp. 440—465. DOI:10.1080/13682820902929073
28. Dockrell J.E., Shield B. The Impact of Sound-Field Systems on Learning and Attention in Elementary School Classrooms. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2012. Vol. 55, no. 4, pp. 1163—1176. DOI:10.1044/1092-4388(2011/11-0026)
29. U.S. Department of Education. Earobics. *WWC Intervention Report*. Washington: Institute of Education Sciences, 2009. 23 p.
30. Engineer N.D., Percaccio C.R., Pandya P.K., Moucha R., Rathbun D.L., Kilgard M.P. Environmental Enrichment Improves Response Strength, Threshold, Selectivity, and Latency of Auditory Cortex Neurons. *Journal of Neurophysiology*, 2004. Vol. 92, no. 1, pp. 73—82. DOI:10.1152/jn.00059.2004
31. Fast ForWord [Elektronnyi resurs]. *Fast forHome*, 2023. URL: <https://www.fastforward.com/> (Accessed 04.10.2023).
32. Folsom R.C., Weber B.A., Thompson G. Auditory Brainstem Responses in Children with Early Recurrent Middle Ear Disease. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 1983. Vol. 92, no. 3, pp. 249—253. DOI:10.1177/000348948309200307
33. Friederichs E., Friederichs P. Electrophysiologic and Psycho-Acoustic Findings Following One-Year Application of a Personal Ear-Level FM Device in Children with Attention Deficit and Suspected Central Auditory Processing Disorder. *Journal of Educational Audiology*, 2005. Vol. 12, pp. 31—36.
34. Musiek F.E., Shinn J.B., Jirsa R., Bamiou D.-E., Baran J.A., Zaida E. GIN (Gaps-In-Noise) Test Performance in Subjects with Confirmed Central Auditory Nervous System Involvement. *EAR and Hearing*, 2005. Vol. 26, no. 6, pp. 608—618. DOI:10.1097/01.aud.0000188069.80699.41
35. Musiek F.E., Chermak G.D. (eds.). Handbook of Central Auditory Processing Disorder. Volume II: Comprehensive Intervention. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing, 2014. 792 p.
36. Xu S., Fan J., Zhang H., Zhao H., Jiang X., Ding H., Zhang Y. Hearing Assistive Technology Facilitates Sentence-in-Noise Recognition in Chinese Children With Autism Spectrum Disorder. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2023. Vol. 66, no. 8, pp. 2967—2987. DOI:10.1044/2023_JSLHR-22-00589
37. Hornickel J., Kraus N. Objective Biological Measures for the Assessment and Management of Auditory Processing Disorder. *Current Pediatric Reviews*, 2011. Vol. 7, no. 3, pp. 252—261. DOI:10.2174/157339611796548438
38. James P., Schafer E.C., Wolfe J., Matthews L., Browning S., Oleson J., Sorensen E., Rance G., Shiels L., Dunn A. Increased rate of listening difficulties in autistic children. *Journal of Communication Disorders*, 2022. Vol. 99, article ID 106252. 11 p. DOI:10.1016/j.jcomdis.2022.106252
39. Groen W.B., van Orsouw L., ter Huurne N., Swinkels S., van der Gaag R.-J., Buitelaar J.K., Zwiers M.P. Intact Spectral but Abnormal Temporal Processing of Auditory Stimuli in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2009. Vol. 39, pp. 742—750. DOI:10.1007/s10803-008-0682-3
40. Ismen K., Emanuel D.C. Auditory Processing Disorder: Protocols and controversy. *American Journal of Audiology*, 2023. Vol. 32, no. 3, pp. 614—639. DOI:10.1044/2023_aja-23-00035

41. Keith W.J., Purdy S.C. Assistive and Therapeutic Effects of Amplification for Auditory Processing Disorder. *Seminars in Hearing*, 2014. Vol. 35, no. 01, pp. 027—038. DOI:10.1055/s-0033-1363522
42. Kulesza R.J., Lukose R., Stevens L.V. Malformation of the human superior olive in autistic spectrum disorders. *Brain Research*, 2011. Vol. 1367, pp. 360—371. DOI:10.1016/j.brainres.2010.10.015
43. Johnston K.N., John A.B., Kreisman N.V., Hall III J.W., Crandell C.C. Multiple benefits of personal FM system use by children with auditory processing disorder (APD). *International Journal of Audiology*, 2009. Vol. 48, no. 6, pp. 371—383. DOI:10.1080/14992020802687516
44. Murphy C.F.B., Moore D.R., Schochat E. Generalization of Auditory Sensory and Cognitive Learning in Typically Developing Children. *PLOS ONE*, 2015. Vol. 10, no. 8, article ID e0135422. 17 p. DOI:10.1371/journal.pone.0135422
45. Musiek F.E. Assessment of Central Auditory Dysfunction: the Dichotic Digit Test Revisited. *EAR and Hearing*, 1983. Vol. 4, no. 2, pp. 79—83. DOI:10.1097/00003446-198303000-00002
46. Noreña A.J., Eggermont J.J. Enriched Acoustic Environment after Noise Trauma Reduces Hearing Loss and Prevents Cortical Map Reorganization. *The Journal of Neuroscience*, 2005. Vol. 25, no. 3, pp. 699—705. DOI:10.1523/jneurosci.2226-04.2005
47. Adams D.J., Susi A., Erdie-Lalena C.R., Gorman G., Hisle-Gorman E., Rajnik M., Elrod M., Nylund C.M. Otitis Media and Related Complications Among Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2016. Vol. 46, pp. 1636—1642. DOI:10.1007/s10803-015-2689-x
48. Patel A.D. Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2011. Vol. 2, article ID 142. 14 p. DOI:10.3389/fpsyg.2011.00142
49. Schafer E.C., Mathews L., Mehta S., Hill M., Munoz A., Bishop R., Moloney M. Personal FM systems for children with autism spectrum disorders (ASD) and/or attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD): An initial investigation. *Journal of Communication Disorders*, 2013. Vol. 46, no. 1, pp. 30—52. DOI:10.1016/j.jcomdis.2012.09.002
50. Pinheiro M.L., Musiek F.E. Screening and temporal ordering in the auditory system. In Pinheiro M.L., Musiek F.E. (eds.), *Assessment of Central Auditory Dysfunction: Foundations and Clinical Correlates*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1985, pp. 291—338.
51. Pinheiro M.L., Ptacek P.H. Reversals in the Perception of Noise and Tone Patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1971. Vol. 49, no. 6B, pp. 1778—1782. DOI:10.1121/1.1912581
52. Chermak G.D., Bamiou D.-E., Iliadou V., Musiek F.E. Practical guidelines to minimise language and cognitive confounds in the diagnosis of CAPD: a brief tutorial. *International Journal of Audiology*, 2017. Vol. 56, no. 7, pp. 499—506. DOI:10.1080/14992027.2017.1284351
53. Rance G., Chisari D., Saunders K., Rault J.-L. Reducing Listening-Related Stress in School-Aged Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2017. Vol. 47, pp. 2010—2022. DOI:10.1007/s10803-017-3114-4
54. Feldman J.I., Thompson E., Davis H., Keceli-Kaysili B., Dunham K., Woynaroski T., Tharpe A.M., Picou E.M. Remote Microphone Systems Can Improve Listening-in-Noise Accuracy and Listening Effort for Youth With Autism. *EAR and Hearing*, 2022. Vol. 43, no. 2, pp. 436—447. DOI:10.1097/aud.0000000000001058
55. de Wit E., van Dijk P., Hanekamp S., Visser-Bochane M.I., Steenbergen B., van der Schans C.P., Luinge M.R. Same or Different: The Overlap Between Children With Auditory Processing Disorders and Children With Other Developmental Disorders: A Systematic Review. *EAR and Hearing*, 2018. Vol. 39, no. 1, pp. 1—19. DOI:10.1097/AUD.0000000000000479
56. Schelinski S., Tabas A., von Kriegstein K. Altered processing of communication signals in the subcortical auditory sensory pathway in autism. *Human Brain Mapping*, 2022. Vol. 43, no. 6, pp. 1955—1972. DOI:10.1002/hbm.25766
57. Sharma M., Purdy S.C., Kelly A.S. A randomized control trial of interventions in school-aged children with auditory processing disorders. *International Journal of Audiology*, 2012. Vol. 51, no. 7, pp. 506—518. DOI:10.3109/14992027.2012.670272
58. Sharma M., Purdy S.C., Kelly A.S. Comorbidity of Auditory Processing, Language, and Reading Disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2009. Vol. 52, no. 3, pp. 706—722. DOI:10.1044/1092-4388(2008/07-0226)
59. Shriberg L.D., Smith A.J. Phonological Correlates of Middle-Ear Involvement in Speech-Delayed Children: A Methodological Note. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 1983. Vol. 26, no. 2, pp. 293—297. DOI:10.1044/jshr.2602.293
60. Centanni T.M., Chen F., Booker A.M., Engineer C.T., Sloan A.M., Rennaker R.L., LoTurco J.J., Kilgard M.P. Speech Sound Processing Deficits and Training-Induced Neural Plasticity in Rats with Dyslexia Gene Knockdown. *PLOS ONE*, 2014. Vol. 9, no. 5, article ID e98439. 14 p. DOI:10.1371/journal.pone.0098439
61. Stefanatos G.A., DeMarco A.T. Central Auditory Processing Disorders. In Ramachandran V.S. (ed.), *Encyclopedia of Human Behavior*. 2nd ed. New York: Academic Press, 2012, pp. 441—453. DOI:10.1016/B978-0-12-375000-6.00083-5
62. Bao S., Chang E.F., Woods J., Merzenich M.M. Temporal plasticity in the primary auditory cortex induced by operant perceptual learning. *Nature Neuroscience*, 2004. Vol. 7, no. 2, pp. 974—981. DOI:10.1038/nn1293
63. Bajo V.M., Nodal F.R., Moore D.R., King A.J. The descending corticocollicular pathway mediates learning-induced auditory plasticity. *Nature Neuroscience*, 2009. Vol. 13, no. 2, pp. 253—260. DOI:10.1038/nn.2466

64. Rance G., Saunders K., Carew P., Johansson M., Tan J. The Use of Listening Devices to Ameliorate Auditory Deficit in Children with Autism. *The Journal of Pediatrics*, 2014. Vol. 164, no. 2, pp. 352–357. DOI:10.1016/j.jpeds.2013.09.041
65. Whitton J.P., Polley D.B. Evaluating the Perceptual and Pathophysiological Consequences of Auditory Deprivation in Early Postnatal Life: A Comparison of Basic and Clinical Studies. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 2011. Vol. 12, pp. 535–547. DOI:10.1007/s10162-011-0271-6
66. Willeford J.A. Assessing central auditory behavior in children: A test battery approach In Keith R.W. (ed.), *Central auditory dysfunction*. New York: Grune and Stratton, 1977, pp. 43–72.
67. Willeford J.A., Burleigh J.M. Sentence procedures in central testing. In Katz J. (ed.), *Handbook of clinical audiology*. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994, pp. 256–268.

Информация об авторах

Фадеев Кирилл Андреевич, младший научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр); младший научный сотрудник лаборатории комплексного исследования речи у детей при аутизме и других нарушениях развития, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2480-5527>, e-mail: fadeevk.fefu@gmail.com

Орехова Елена Владимировна, кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник Центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0950-1613>, e-mail: orekhova.elena.v@gmail.com

Information about the authors

Kirill A. Fadeev, Research Associate, Centre of Neurocognitive Research (MEG Centre); Research Associate, Laboratory for Comprehensive Speech Research in Children with Autism and Other Developmental Disorders, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2480-5527>, e-mail: fadeevk.fefu@gmail.com

Elena V. Orekhova, PhD in Psychology, Senior Researcher, Centre of Neurocognitive Research (MEG Centre), Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0950-1613>, e-mail: orekhova.elena.v@gmail.com

Получена 16.10.2023

Received 16.10.2023

Принята в печать 22.12.2023

Accepted 22.12.2023