

ПОТЕНЦИАЛЫ СЛЕДОВАНИЯ ЗА ЧАСТОТОЙ У ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

М.В. Морозова , К.А. Фадеев, Д.Э. Гояева, Т.М. Овсянникова, А.Г. Крючкова, Т.А. Строганова, Е.В. Орехова

Центр нейрокognитивных исследований (МЭГ-центр),

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), Москва, Россия

Трудности с обработкой звуков речи часто сопутствуют расстройствам аутистического спектра (РАС) и наиболее ярко выражены в условиях затрудненного прослушивания (например, на фоне шума). Предполагают, что такое нарушение слухоречевой обработки при РАС может быть связано с функциональными и морфологическими аномалиями на уровне ствола мозга, но убедительные доказательства такой связи отсутствуют. Потенциал Следования за Частотой (ПСЧ; англ.: frequency-following response) представляет собой показатель синхронной активности нейронов ствола мозга, индуцированной звуковой стимуляцией, и может дать информацию о сохранности процессов обработки акустической информации на подкорковом уровне у пациентов с РАС. Целями данной работы являлись 1) отработка метода регистрации ПСЧ на когорте нейротипичных детей и взрослых и 2) получение предварительных данных о возможных различиях временных и спектральных характеристик ПСЧ у детей с РАС и типично развивающихся (ТР) детей.

ПСЧ были зарегистрированы в ответ на речевой слог [да] у 28 взрослых (средний возраст 25.1 ± 3.3 года), 15 типично развивающихся детей (9.9 ± 1.6 года) и 20 детей с РАС (9.5 ± 1.5 года) по методике, описанной Skoe и соавт. (2015). Анализ данных показал удовлетворительное отношение сигнал/шум (ОСШ), позволившее охарактеризовать латентности волн ПСЧ и спектральные характеристики сигнала у всех групп испытуемых. Согласно с данными литературы, амплитуды волн и абсолютная мощность спектра ПСЧ у взрослых оказались ниже, чем у детей. ОСШ было выше у взрослых, чем у детей, но значимо не различалось в группах ТР детей и детей с РАС. Различий в показателях ПСЧ между группами испытуемых выявлено не было; наблюдаемые тенденции не сохранились после коррекции на множественные сравнения.

Результаты указывают на отсутствие выраженных аномалий в обработке речевых сигналов на уровне ствола мозга у детей с РАС на групповом уровне. Дальнейшие исследования, направленные на повышение ОСШ при регистрации ПСЧ, расширение экспериментальной выборки и оценку выраженности слухоречевых нарушений могут помочь выявить детей у которых такие нарушения связаны со стволовой дисфункцией.

Ключевые слова: потенциал следования за частотой (ПСЧ), ствол мозга, расстройства аутистического спектра (РАС), нарушение слухоречевой обработки

Личные вклады авторов: Авторы внесли равный вклад в исследование. Морозова М.В. и Фадеев К.А. осуществляли анализ данных; Фадеев К.А., Гояева Д.Э., Овсянникова Т.М. и Крючкова А.Г. проводили сбор данных; Строганова Т.А. и Орехова Е.В. разработали концепцию и дизайн исследования, а также осуществляли критический обзор и доработку рукописи

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-18-00739)

 **Для корреспонденции:** Морозова Марина Витальевна; M.Morozova.V@yandex.ru

Статья получена: 31.08.2025 **Статья принята к печати:** 22.12.2025 **Опубликована онлайн:** 25.12.2025

DOI: 10.24075/vmedpsy.2025-04.04

FREQUENCY-FOLLOWING RESPONSES IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDERS

Morozova M V ✉, Fadeev K A, Goyaeva D E, Ovsyannikova T M, Kryuchkova A G, Stroganova T A, Orekhova E V

Center for Neurocognitive Research (MEG Center),

Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russian Federation

Difficulties in speech sound processing are frequently observed in individuals with autism spectrum disorder (ASD) and are most pronounced under challenging listening conditions (e.g., in noise). It has been suggested that impaired speech processing in ASD may be linked to functional and morphological abnormalities at the brainstem level, although conclusive evidence is lacking. The frequency-following response (FFR) reflects synchronous neural activity in the auditory brainstem elicited by sound stimulation and may provide insights into the integrity of subcortical auditory processing in individuals with ASD. The aims of the present study were (1) to establish and validate FFR recording procedures in a cohort of neurotypical children and adults, and (2) to obtain preliminary data on potential differences in temporal and spectral characteristics of the FFR between children with ASD and typically developing (TD) children.

FFRs were recorded in response to the speech syllable [da] in 28 adults (mean age 25.1 ± 3.3 years), 15 typically developing children (9.9 ± 1.6 years), and 20 children with ASD (9.5 ± 1.5 years) using the protocol described by Skoe et al. (2015). Data analysis revealed a satisfactory signal-to-noise ratio (SNR), allowing reliable characterization of FFR wave latencies and spectral properties across all groups. Consistent with previous reports, adults showed lower wave amplitudes and overall spectral power compared to children. SNR was higher in adults relative to children, but no significant difference was observed between TD children and children with ASD. No group-level differences in FFR measures were found; observed tendencies did not remain significant after correction for multiple comparisons. These results suggest the absence of pronounced abnormalities in brainstem-level processing of speech signals in children with ASD at the group level. Future studies aimed at improving SNR in FFR recordings, expanding sample sizes, and assessing the severity of speech perception difficulties may help identify subgroups of children in whom such difficulties are associated with brainstem dysfunction.

Keywords: frequency-following response (FFR), brainstem, autism spectrum disorder (ASD), auditory speech processing deficits

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation (project no. 25-18-00739)

Authors' personal contributions: The authors' contributions to the study are equal. Morozova M V and Fadeev K A analyzed the data; Fadeev K A, Goyaeva D E, Ovsyannikova T M and Kryuchkova A G performed important data collection; Stroganova T A and Orekhova E V developed the design and project studies, and conducted a thorough review and revision of the manuscript

✉ **Correspondence should be addressed:** Morozova Marina Vitalievna; M.Morozova.V@yandex.ru

Received: 31.08.2025 **Accepted:** 22.12.2025 **Published online:** 25.12.2025

DOI: 10.24075/vmedpsy.2025-04.04

ВВЕДЕНИЕ

Люди с расстройствами аутистического спектра (РАС), часто испытывают трудности с восприятием речи на слух, что особенно выражено в условиях затрудненного прослушивания, таких как искаженная, быстрая или зашумленная речь. Трудности слухоречевого восприятия при РАС могут быть связаны с нарушением тонкой временной обработки сигнала на разных уровнях слухового анализатора, включая структуры ствола мозга [1]. Функциональные нарушения на уровне ствола отражаются в изменении характеристик акустических стволовых вызванных потенциалов (АСВП) (англ.: auditory brainstem response, ABR), регистрируемых в ответ на короткие стимулы (обычно щелчки) а также в изменении потенциалов следования за частотой (ПСЧ, англ.: frequency following response) в ответ на более сложные – например речевые – сигналы [2]. Стволовые потенциалы представляют собой коротколатентные ответы ядер слухового анализатора в стволе мозга, синхронизированные по времени со стимулом и регистрируемые с поверхности головы с использованием электроэнцефалографии (ЭЭГ). Они обладают высокой диагностической точностью, поскольку даже минимальные изменения задержек волн могут указывать на патологии слухового тракта, демиелинизацию или нарушения нейроразвития. Исследования последних лет показали, что функциональные нарушения, отраженные в изменении ПСЧ на речевые стимулы могут быть одной из причин трудностей слухоречевого восприятия при сохранности тонального слуха, например, у детей с дислексией [3–5].

ПСЧ в ответ на сложные звуки, такие как речь или музыкальные тоны, содержит частотно-зависимый ответ, повторяющий форму акустического стимула и воспроизводящий фундаментальную частоту (F0), ее гармоники и частоты формант, и отражающий нейронное представление высоты и тембра на ранних этапах обработки в слуховом анализаторе. В классической парадигме с речевым слогом [да] [6] частотно-зависимый ответ следует за ответом на начало стимула (волны V и A) и во временной области описывается волнами C-F и заканчивается волной O - ответом на окончание стимула, а в спектральной области частотно-зависимый ответ содержит выраженную энергию на фундаментальной частоте и ее гармониках. Нейрональные источники частотно-зависимого ответа изучены хуже, чем источники волн I-V АСВП в ответ на щелчки, и потенциал его клинического применения ещё не полностью раскрыт. Как и в случае АСВП, нейрональные источники ПСЧ лежат в основном в ядрах ствола мозга, хотя наблюдается также вклад в ПСЧ и кортикальных источников [7].

Изучение ПСЧ в ответ на речевые стимулы позволяет одновременно оценивать как точность временной передачи, так и особенности кодирования речевого сигнала на уровне ствола мозга. Это делает метод ценным инструментом для исследования слуховой обработки при нормальном развитии и различных нейроразвитий-

ных состояниях, включая расстройства аутистического спектра (РАС). Ранее сообщалось о возможных изменениях у детей с РАС стволовых ответов, включая ПСЧ, на акустические стимулы [8–10]. Однако данные остаются противоречивыми, особенно в части откликов на речевые стимулы. Основной задачей настоящего исследования было выявление возможных нарушений стволовой обработки спектрально сложных речевых сигналов у детей с РАС на основании анализа ПСЧ, зарегистрированных в ответ на слог [да]. Нашей вспомогательной задачей была отработка метода регистрации ПСЧ с использованием энцефалографа NVX128 (ООО “Медицинские компьютерные системы”, Россия), имеющегося в распоряжении нашей научной группы. Для реализации этих задач мы сначала провели регистрацию ПСЧ у нейротипичных испытуемых (детей и взрослых), воспроизводя ранее описанные возрастные различия, а затем сравнили характеристики ПСЧ у детей с РАС и ТР детей того же возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 63 человека: 28 взрослых с нормальным слухом (средний возраст \pm стандартное отклонение: 25.1 ± 3.3 лет), 15 типично развивающихся детей (9.9 ± 1.6 лет) и 20 детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) (9.5 ± 1.5 лет). У всех участников слух соответствовал норме согласно данным тональной аудиометрии (у детей) или вербальным отчетам (у взрослых). Все участники (или их законные представители) подписали информированное согласие на участие в исследовании. Протокол был одобрен этическим комитетом МГППУ.

ПСЧ регистрировались с использованием многоканальной системы NVX128 (ООО “Медицинские компьютерные системы”, Россия) с частотой дискретизации 25 кГц. Активный электрод располагался в точке Cz, референтный – на мочке правого уха (A2), заземляющий – в точке Fpz. Сопротивление электродов поддерживалось в пределах 2-3 кОм.

В качестве акустического стимула использовался слог [да] длительностью 40 мс, предъявляемый в соответствии с протоколом, описанным в работе Skoe и соавт. [6]. Всего предъявлялось 10 000 стимулов с частотой 10,89 Гц в чередующейся полярности (положительной и отрицательной) для минимизации микрофонных артефактов. Звук подавался в правое ухо через акустическую трубку, что снижало уровень электромагнитных помех. Для точной синхронизации стимулов с электроэнцефалографической записью (ЭЭГ), к электроэнцефалографу был дополнительно подключён микрофон, соединённый с акустической трубкой.

Для предобработки данные ЭЭГ фильтровались в диапазоне 70-2000 Гц с использованием фильтра Баттерворта 4-го порядка. Затем выделялись эпохи, начинавшиеся за 40 мс до и заканчивавшиеся через 80 мс после предъявления акустического стимула [да]. Эпохи с размахом сигнала более 50 мкВ рассматривались

как артефактные и исключались из дальнейшего анализа. Оставшиеся эпохи усреднялись для получения ПСЧ. Для оценки качества записанных сигналов вычислялось отношение сигнал/шум как отношение среднеквадратичного значения в постстимульном интервале (19.5–44.2 мс) к среднеквадратичному значению в престоимпульном интервале (-30–0 мс). Задержки волн V, A, C, D, E, F и O определялись вручную квалифицированным исследователем на основании визуальной идентификации характерных волн усреднённых ПСЧ. Для анализа частотных характеристик усреднённых ПСЧ к постстимульному интервалу (19.5–44.2 мс) применялось преобразование Фурье.

Для статистического сравнения между группами отношения сигнал/шум, латентностей волн ПСЧ, а также мощностей фундаментальной частоты и гармоник в спектрах ПСЧ использовался U-критерий Манна-Уитни. При множественных сравнениях применялась поправка Бенджамини-Хохберга.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

На Рисунке 1 представлен акустический стимул [да] (Рис. 1А) и соответствующие усреднённые ПСЧ трех групп испытуемых (Рис. 1Б). Характерные волны V, A, C, D, E, F и O отчётливо выделяются на усреднённой кривой. Сводные значения латентностей волн приведены в Таблице 1, где показаны средние величины и стандартные отклонения для каждой группы участников. ОСШ было статистически значимо выше у взрослых (2.21 ± 0.90 ; среднее \pm стандартное отклонение) по сравнению с детьми с РАС (1.67 ± 0.53 ; $U = 378$, $p = 0.041$) и показывало тенденцию к увеличению по сравнению с типично развивающимися детьми (1.67 ± 0.44 ; $U = 140$, $p = 0.077$). Между типично развивающимися детьми и детьми с РАС различий в ОСШ выявлено не было. До применения коррекции на множественные сравнения, латентность волны С у детей с РАС была статистически значимо короче по сравнению с типично

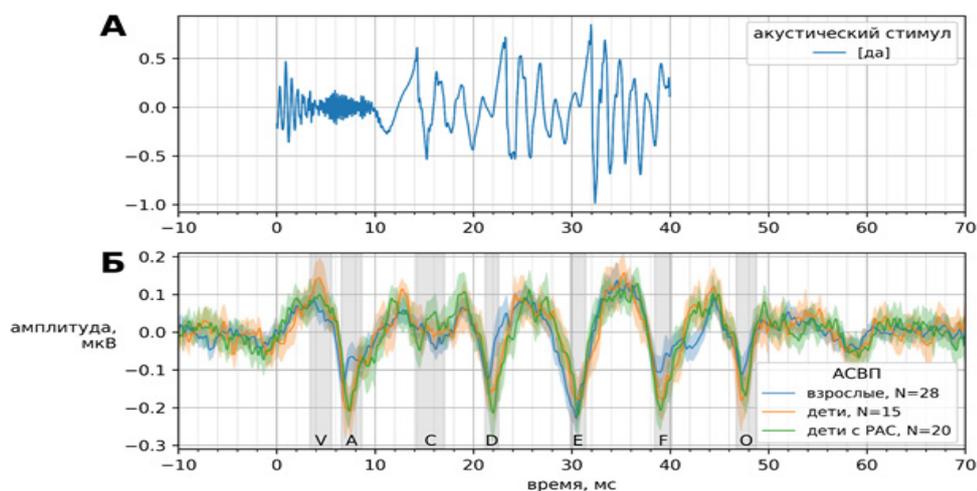


Рис. 1. Акустический стимул [да] и акустические стволовые вызванные потенциалы (АСВП) (Б).

развивающимися детьми ($U = 215.5$, $p = 0.03$, $\rho_{corr} = 0.21$) и взрослыми ($U = 401.5$, $p = 0.011$, $\rho_{corr} = 0.21$), а латентность волны D – длиннее по сравнению со взрослыми ($U = 173.5$, $p = 0.027$, $\rho_{corr} = 0.21$). Однако указанные различия не сохранили статистической значимости после внесения поправки на множественные сравнения.

На Рисунке 2 представлены спектры акустического стимула [да] и усреднённых ПСЧ в интервале 19.5–44.2 мс после начала стимула. В спектрах ПСЧ отчётливо выделяются компоненты, соответствующие фундаментальной частоте (F_0 , 103–125 Гц) и ее гармоник. Сводные значения мощностей в различных диапазонах спектра для каждой группы участников приведены в Таблице 2.

Таблица 1. Сводная статистика задержек волн акустических стволовых вызванных потенциалов (АСВП) в ответ на акустический стимул [да].

Группа	Задержка волн АСВП, среднее \pm стандартное отклонение, мс						
	V	A	C	D	E	F	O
Взрослые	4.52 \pm 1.29	7.53 \pm 1.36	15.93 \pm 1.32	21.83 \pm 0.72	30.46 \pm 0.8	39.26 \pm 1.04	47.66 \pm 1.17
Дети	4.29 \pm 0.83	7.46 \pm 0.64	16.06 \pm 1.59	21.67 \pm 0.84	30.74 \pm 0.9	39.29 \pm 0.69	47.76 \pm 1.12
Дети с РАС	4.58 \pm 1.03	7.81 \pm 0.85	14.86 \pm 1.24	22.08 \pm 0.49	30.74 \pm 0.77	39.36 \pm 0.86	47.83 \pm 0.79

До применения коррекции на множественные сравнения мощность гармоник стимула в ПСЧ у взрослых была статистически значимо ниже по сравнению с типично развивающимися детьми ($U = 148$, $p = 0.006$, $pcorr = 0.089$) и детьми с РАС ($U = 130$, $p = 0.043$, $pcorr = 0.15$). Полная спектральная мощность ПСЧ у взрослых также оказалась статистически значимо ниже, чем у детей с РАС ($U = 132$, $p = 0.048$, $pcorr = 0.15$). Кроме

того, относительная мощность гармоник стимула (175-750 Гц) в ПСЧ у взрослых была меньше по сравнению с типично развивающимися детьми ($U = 170$, $p = 0.022$, $pcorr = 0.15$). Однако после внесения поправки на множественные сравнения указанные различия спектральных характеристик ПСЧ не сохраняли статистической значимости.

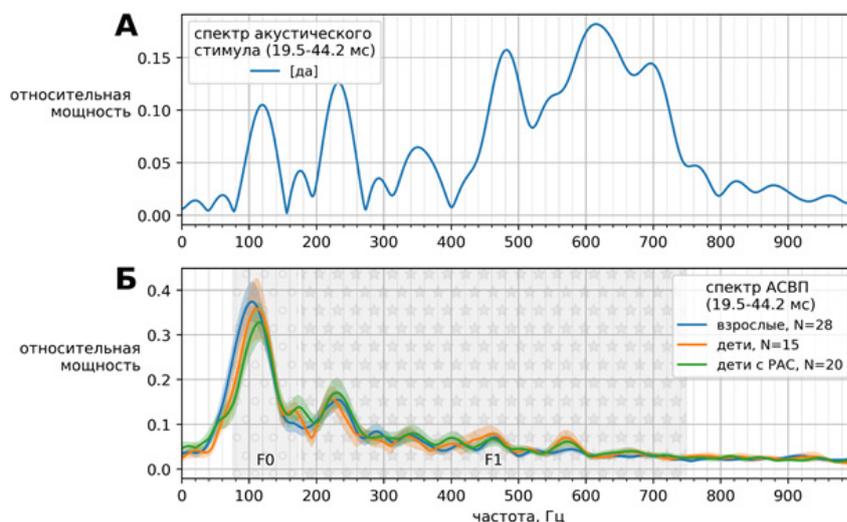


Рис. 2. Спектры акустического стимула (А) и потенциалов следования за частотой (ПСЧ) (Б) в период 19.5-44.2 мс после стимула

Таблица 2. Сводная статистика мощностей диапазонов спектра потенциалов следования за частотой (ПСЧ) в ответ на акустический стимул [да] в период 19.5-44.2 мс после стимула

Группа	Мощность спектра ПСЧ, среднее \pm стандартное отклонение				
	F0, 75-175 Гц, мкВ ²	F1, 175-750 Гц, мкВ ²	Полная мощность спектра, мкВ ²	Относительная мощность F0	Относительная мощность F1
Взрослые	0.2 \pm 0.06	0.27 \pm 0.07	0.84 \pm 0.15	0.24 \pm 0.05	0.33 \pm 0.05
Дети	0.22 \pm 0.07	0.31 \pm 0.08	0.91 \pm 0.17	0.23 \pm 0.06	0.34 \pm 0.06
Дети с РАС	0.21 \pm 0.08	0.35 \pm 0.1	0.97 \pm 0.27	0.21 \pm 0.04	0.36 \pm 0.06

ОБСУЖДЕНИЕ

Нам удалось выявить основные "классические" пики ПСЧ в ответ на стимул [да] и оценить их латентности у всех испытуемых. Более того, латентности пиков соответствовали описанным в литературе [6], что свидетельствует о возможности надежной регистрации ПСЧ с помощью используемых нами экспериментальных подходов. Тем не менее, мы не выявили значимых различий в характеристиках ПСЧ между взрослыми и детьми.

У взрослых амплитуды волн и абсолютная спектральная мощность ПСЧ были ниже, чем у детей, что соответствует данным литературы [6]. Такие амплитудные различия трудно интерпретировать нейрофизиологически, поскольку они зависят от сопротивления электродов и анатомии – размера головы, толщины костей, расстояния до нейронных источников и итоговой геометрии монтажа Frz-Cz-A2. В качестве интегрального показателя качества ПСЧ мы использовали отношение сигнал/шум (ОСШ), которое у взрослых оказалось выше, чем у

детей. Возрастные различия в ОСШ могут быть связаны с меньшим вкладом шума (например, фоновой активности и/или мышечных артефактов) у взрослых.

Регистрация ПСЧ является технически сложной и чувствительной к сопротивлению электродов, двигательным и мышечным артефактам. Для стабильной записи необходимо поддерживать сопротивление электродов не выше 2-3 кОм, аккуратно подготавливать кожу, менять электроды по мере износа и исключать артефактные эпохи. Для детей такие меры особенно важны, так как именно они определяют итоговое отношение сигнал/шум и воспроизводимость волн V, A, C, D, E, F и O и компонент частотно-зависимого ответа.

Изменения латентностей отдельных волн требуют осторожной интерпретации. Волна C имеет низкую амплитуду, что повышает её чувствительность к шуму и снижает её воспроизводимость; аналогично, вариации задержек волны D до коррекции на множественные сравнения могут объясняться меньшей стабильностью детских записей.

Несмотря на рост числа исследований стволовых вызванных ответов у пациентов с РАС, сохраняются методологические ограничения, снижающие воспроизводимость получаемых результатов. Часто используются малые выборки, не учитываются множественные сравнения, а результаты ограничиваются сводными таблицами без представления кривых и спектров. Наши данные показывают важность строгого статистического анализа: различия латентностей волн С и D и спектральных мощностей, выявленные до коррекции, не сохранились после поправки на множественные сравнения. Это подчёркивает риск ложноположительных результатов и необходимость публикации не только сводных показателей, но и кривых и спектров для визуальной оценки устойчивости эффектов.

В нашем исследовании, межгрупповые различия латентностей и спектральных мощностей не выдержали коррекции на множественные сравнения, что свидетельствует в пользу отсутствия значительных аномалий ПСЧ у детей с РАС на групповом уровне. Возможно, увеличение выборки, стандартизация регистрации и более детальный учёт возраста и анатомии позволят выявить отклонения в ПСЧ у ряда детей с РАС. Клиническая

ценность таких отклонений потребует проверки на независимых выборках и сопоставления с поведенческими показателями слухоречевой обработки.

ВЫВОДЫ

Использованный нами экспериментальный подход позволил выявить основные пики ПСЧ у детей и взрослых и показал, что их латентности соответствуют описанным в литературе. Тем не менее, мы не обнаружили межгрупповых различий в латентностях волн и спектральных мощностях ПСЧ на речевой слог [да] при сравнении типично развивающихся детей и детей с РАС. Этот результат указывает на отсутствие выраженных аномалий в обработке речевых сигналов на уровне ствола мозга у детей с РАС на групповом уровне. Дальнейшие исследования, направленные на повышение ОСШ при регистрации ПЧС, расширение экспериментальной выборки и оценку выраженности слухоречевых нарушений могут помочь выявить детей у которых нарушения слухоречевого восприятия связаны со стволовой дисфункцией.

Литература

1. Castro, A. C., & Monteiro, P. (2022). Auditory dysfunction in animal models of autism spectrum disorder. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 15, Article 819631. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2022.845155>
2. Skoe, E., & Kraus, N. (2010). Auditory brainstem response to complex sounds: A tutorial. *Ear and Hearing*, 31(3), 302–324. <https://doi.org/10.1097/aud.0b013e3181c8b272>
3. Hornickel, J., Zecker, S. G., Bradlow, A. R., & Kraus, N. (2012). Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(41), 16731–16736. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206628109>
4. Chandrasekaran, B., Hornickel, J., Skoe, E., Nicol, T., & Kraus, N. (2009). Context-dependent encoding in the human auditory brainstem relates to hearing speech in noise: Implications for developmental dyslexia. *Neuron*, 64(3), 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.10.006>
5. Kouni, S. N., Koutroumanidis, M., Tassorelli, C., Prévost, A., & Viana, M. (2006). Auditory brainstem responses in dyslexia: Comparison between acoustic click and verbal stimulus events. *Journal of Otolaryngology*, 35(5), 305–311. <https://doi.org/10.2310/7070.2005.4128>
6. Skoe, E., Krizman, J., & Kraus, N. (2015). Stability and plasticity of auditory brainstem function across the lifespan. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1415–1426. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht311>
7. Coffey, E. B. J., Herholz, S. C., Chepesiuk, A. M. P., Baillet, S., & Zatorre, R. J. (2016). Cortical contributions to the auditory frequency-following response revealed by MEG. *Nature Communications*, 7(1), 11070. <https://doi.org/10.1038/ncomms11070>
8. Ramezani, M., Lotfi, Y., Moossavi, A., Bakhshi, E., & Sayyahi, F. (2019). Auditory brainstem response to speech in children with high functional autism spectrum disorder. *Neurological Sciences*, 40(1), 121–125. <https://doi.org/10.1007/s10072-018-3594-9>
9. Font-Alaminos, M., Cornella, M., Costa-Faidella, J., Cardon, G., & Escera, C. (2020). Increased subcortical neural responses to repeating auditory stimulation in children with autism spectrum disorder. *Biological Psychology*, 149, 107807. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107807>
10. Chen, J., Zhao, Q., Lan, Z., He, C., Li, J., Fang, S., & Wu, D. (2019). Atypical longitudinal development of speech-evoked auditory brainstem response in preschool children with autism spectrum disorders. *Autism Research*, 12(7), 1022–1031.

References

1. Castro, A. C., & Monteiro, P. (2022). Auditory dysfunction in animal models of autism spectrum disorder. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 15, Article 819631. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2022.845155>
2. Skoe, E., & Kraus, N. (2010). Auditory brainstem response to complex sounds: A tutorial. *Ear and Hearing*, 31(3), 302–324. <https://doi.org/10.1097/aud.0b013e3181cdb272>
3. Hornickel, J., Zecker, S. G., Bradlow, A. R., & Kraus, N. (2012). Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(41), 16731–16736. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206628109>
4. Chandrasekaran, B., Hornickel, J., Skoe, E., Nicol, T., & Kraus, N. (2009). Context-dependent encoding in the human auditory brainstem relates to hearing speech in noise: Implications for developmental dyslexia. *Neuron*, 64(3), 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.10.006>
5. Kouni, S. N., Koutroumanidis, M., Tassorelli, C., Prévost, A., & Viana, M. (2006). Auditory brainstem responses in dyslexia: Comparison between acoustic click and verbal stimulus events. *Journal of Otolaryngology*, 35(5), 305–311. <https://doi.org/10.2310/7070.2005.4128>
6. Skoe, E., Krizman, J., & Kraus, N. (2015). Stability and plasticity of auditory brainstem function across the lifespan. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1415–1426. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht311>
7. Coffey, E. B. J., Herholz, S. C., Chepesiuk, A. M. P., Baillet, S., & Zatorre, R. J. (2016). Cortical contributions to the auditory frequency-following response revealed by MEG. *Nature Communications*, 7(1), 11070. <https://doi.org/10.1038/ncomms11070>
8. Ramezani, M., Lotfi, Y., Moossavi, A., Bakhshi, E., & Sayyahi, F. (2019). Auditory brainstem response to speech in children with high functional autism spectrum disorder. *Neurological Sciences*, 40(1), 121–125. <https://doi.org/10.1007/s10072-018-3594-9>
9. Font-Alaminos, M., Cornella, M., Costa-Faidella, J., Cardon, G., & Escera, C. (2020). Increased subcortical neural responses to repeating auditory stimulation in children with autism spectrum disorder. *Biological Psychology*, 149, 107807. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107807>
10. Chen, J., Zhao, Q., Lan, Z., He, C., Li, J., Fang, S., & Wu, D. (2019). Atypical longitudinal development of speech-evoked auditory brainstem response in preschool children with autism spectrum disorders. *Autism Research*, 12(7), 1022–1031.