



УДК 159+612

<https://www.doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-1-66-72>

Особенности корковых слуховых вызванных потенциалов при аутизме (обзор зарубежных исследований)

В. А. Ефимова^{1,2}, О. В. Фроловская^{✉1}

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

² Детская неврологическая клиника «Прогноз», 190000, Россия, г. Санкт-Петербург, Парадная ул., д. 3, корп. 2

Сведения об авторах

Ефимова Виктория Леонидовна,
ORCID: [0000-0001-7029-9317](https://orcid.org/0000-0001-7029-9317),
e-mail: prefish@ya.ru

Фроловская Ольга Владимировна,
ORCID: [0000-0002-3801-8172](https://orcid.org/0000-0002-3801-8172),
e-mail: olga_3p@mail.ru

Для цитирования:

Ефимова, В. А., Фроловская, О. В. (2022) Особенности корковых слуховых вызванных потенциалов при аутизме (обзор зарубежных исследований). *Комплексные исследования детства*, т. 4, № 1, с. 66–72.
<https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-1-66-72>

Получена 14 января 2022; прошла рецензирование 21 января 2022; принята 21 января 2022.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: © В. А. Ефимова
О. В. Фроловская (2022).
Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. Обзор посвящен англоязычным исследованиям особенностей слухового восприятия при аутизме. Эта тема является актуальной, так как сенсорные особенности являются одним из критериев аутизма. К дисфункциям слухового восприятия относятся гиперчувствительность к звукам, гипочувствительность, поиск сенсорной стимуляции, затруднения в переработке аудиторной информации. В обзоре приводятся исследования с использованием связанных с событиями слуховых вызванных потенциалов. Многочисленные исследования демонстрируют нетипичную нейронную активность и измененные амплитуды, и задержки в компонентах корковых слуховых вызванных потенциалов, связанных с событиями, при расстройстве аутистического спектра (РАС). У людей с РАС есть проблемы с обработкой простых слуховых стимулов в первичной и вторичной слуховой коре, возможно, вызванные нарушениями скорости проводимости и синаптической связности на нейрональном уровне. Выявлена замедленная реакция слуховой коры на стимулы. Замедленные реакции связаны с низким уровнем развития языковых навыков, гипореактивностью, сенсорным поиском, тяжестью проявления симптомов аутизма. При РАС наблюдаются особенности привыкания к слуховым стимулам, которые могут быть причиной гиперчувствительности к звукам. Люди с аутизмом испытывают трудности в прогнозировании при восприятии слуховой информации. Это может объяснить, почему аутичные люди часто перегружены сенсорной стимуляцией. Возможно ошибки в прогнозировании появления сенсорных стимулов являются базовым дефицитом, лежащим в основе РАС. Обзор научных исследований показывает, что имеются веские доказательства, что у людей с РАС имеются нарушения обработки слуховой информации на корковом уровне. Особенности слухового восприятия при аутизме нуждаются в дальнейшем изучении.

Ключевые слова: слуховое восприятие, РАС, коммуникация, дети, корковые слуховые вызванные потенциалы, гиперчувствительность к звукам

Cortical auditory evoked potentials in autism spectrum disorders: Foreign literature review

V. L. Efimova^{1,2}, O. V. Frolovskaia^{✉1}

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

² Neurology clinic for children "Prognoz" Unit 2, 3 Paradnaya Str., Saint Petersburg 191000, Russia

Authors

Victoria L. Efimova,
ORCID: [0000-0001-7029-9317](https://orcid.org/0000-0001-7029-9317),
e-mail: prefish@ya.ru

Olga V. Frolovskaia,
ORCID: [0000-0002-3801-8172](https://orcid.org/0000-0002-3801-8172),
e-mail: olga_3p@mail.ru

For citation:

Efimova, V. L., Frolovskaia, O. V. (2022). Cortical auditory evoked potentials in autism spectrum disorders: Foreign literature review. *Comprehensive Child Studies*, vol. 4, no. 1, pp. 66–72.
<https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-1-66-72>

Received 23 June 2021;
reviewed 4 January 2022;
accepted 4 January 2022.

Funding: The study did not receive any external funding.

Copyright: © V. L. Efimova, O. V. Frolovskaia (2022). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstract. The review reports the results of English language studies on processing auditory information in autism. Sensory symptoms are one of the key diagnostic criteria for autism. This makes the review highly relevant. The dysfunctions of auditory perception include hypersensitivity to sounds, hyposensitivity, a need for sensory stimulation, and difficulties in processing auditory information. The review is based on the studies of event-related auditory evoked potentials. Numerous studies demonstrate atypical neural activity and altered amplitudes and delays in cortical event-related auditory evoked potentials in ASD. Individuals with ASD have problems processing simple auditory stimuli in the primary and secondary auditory cortex, possibly caused by impaired conduction velocity and synaptic connectivity at the neuronal level. The studies indicate a delayed response to stimuli in the auditory cortex. Delayed reactions are associated with underdeveloped language skills, hyperactivity, a need for sensory stimulation, and severity of autism symptoms. Patients with ASD have reduced habituation to auditory stimuli, which may explain hypersensitivity to sounds. Individuals with autism have difficulty in predicting when dealing with auditory information. This may be the reason why autistic people are often overwhelmed by sensory stimulation. Erroneous prediction of sensory stimuli might be the core deficit in ASD. The present review shows strong evidence that individuals with ASD have auditory processing disorders at the cortical level. Auditory perception in autism needs further study.

Keywords: auditory perception, ASD, communication, children, cortical auditory evoked potentials, hypersensitivity to sounds

Расстройство аутистического спектра (РАС) является сложным и неоднородным нарушением развития, которое влияет на все сферы жизни ребенка и его семьи. Хотя проявления РАС у разных детей существенно различаются, в научной литературе анализируются особенности обработки сенсорной информации, характерные для данного расстройства. Эти особенности являются одним из критериев аутизма в Диагностическом и статистическом руководстве по психическим расстройствам, пятое издание (DSM-5). Одной из наиболее важных областей являются проблемы с обработкой слуховой информации (Ludlow, Mohr, Whitmore et al. 2014; Näätänen, Kujala, Escera et al. 2012; O'Connor 2012).

Для изучения особенностей слухового восприятия используются электрофизиологические методы (Efimova, Nikolaeva 2019; 2020). Наиболее широко используемый вариант — это связанные с событиями слуховые вызванные потенциалы. Существуют две разновидности связанных с событиями потенциалов. В первом

случае исследование проводится с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ), во втором используется магнитоэнцефалография (МЭЭГ).

За последние два десятилетия было проведено большое количество электрофизиологических исследований с использованием этих методов. Считается, что они объективны и обладают большим потенциалом для понимания основных психофизиологических механизмов РАС.

В научных исследованиях анализируются несколько компонентов вызванных потенциалов, связанных с событиями, таких как P1/M501, N1b, M100, P300 и т. д. Они обычно помечаются в соответствии с их полярностью (P для положительного и N для отрицательного отклонения), латентностью (временем появления) или порядком появления в виде волн (пиков).

У детей младшего возраста наиболее заметными слуховыми компонентами связанных с событиями вызванных потенциалов фронтально-центральных областей коры являются P1 и N2 (Shafer, Yan, Wagner 2015).

N2 вырабатывается в первичных/вторичных областях слуховой коры и, как полагают, представляет собой подробный анализ звука или кодирование фонетических особенностей более высокого порядка. P1 является основным компонентом связанных с событиями слуховых вызванных потенциалов примерно до 10-летнего возраста. Латентность P1 обычно имеет тенденцию уменьшаться с возрастом, тогда как амплитуда P1 минимально увеличивается до пяти лет, а затем некоторое время остается стабильной.

Начиная с возраста 10 лет комплекс P1-N1b-P2 (M50-M100-M200) начинает возникать с образованием других фронтально-центральных компонентов N1 (или N1b) и P2 (Dwyer, de Meo-Monteil, Saron, Rivera 2021).

Предполагается, что этот комплекс представляет собой результат начальной обработки низкоуровневых слуховых стимулов в первичной и вторичной слуховой коре. Существует также компонент N1c, который происходит из верхней височной извилины и, как предполагается, связан с ранними стадиями кодирования и распознавания акустических стимулов (Williams, Abdelmessih, Key, Woynaroski 2020).

Многочисленные исследования слуховой обработки демонстрируют нетипичную нейронную активность и измененные амплитуды, и задержки в компонентах корковых слуховых вызванных потенциалов, связанных с событиями, при РАС.

Увеличение латентности P1/M50 и N1/M100 показано во множестве исследований, что, по-видимому, указывает на задержку проведения слуховой информации в коре головного мозга. Однако, скорее всего, из-за методологических различий (например, различиях в сложности слуховых стимулов, используемых в исследованиях: чистый тон, сложный тон, речь), существуют несоответствия между результатами.

С целью получения надежных результатов относительно корковых слуховых вызванных потенциалов при РАС в последние годы были проведены некоторые хорошо организованные и документированные метааналитические исследования.

Одна из таких работ была проведена Уильямсом и др. в 2020 г. (Williams, Abdelmessih, Key, Woynaroski 2020).

Было показано, что при обработке низкоуровневых неречевых слуховых стимулов наблюдалось увеличение латентностей P1/M50 и M100, а также уменьшение амплитуд волн N1c и N2 у испытуемых с РАС относительно испытуемых из контрольной группы. Тем не менее,

исследователи не обнаружили статистически значимых различий между группами в латентностях P2/M200 и N2, а также в амплитудах P1/M50, N1b, M100 и P2/M200. На основе этих результатов было высказано предположение, что у людей с РАС есть проблемы с обработкой простых слуховых стимулов в первичной и вторичной слуховой коре, возможно, вызванные нарушениями скорости проводимости и синаптической связности на нейрональном уровне (Williams, Abdelmessih, Key, Woynaroski 2020).

В другом метааналитическом обзоре изучалось, что происходит в процессе обработки слуховой информации низкого уровня: отличаются ли результаты исследования вызванных слуховых корковых потенциалов у детей с РАС от результатов испытуемых без особенностей развития, и являются ли эти изменения специфичными для одного полушария. Было установлено, что при РАС выявляется замедленная реакция слуховой коры, что проявляется в пиках P1/M50 в обоих полушариях по сравнению с нейротипичными испытуемыми из контрольной группы. Кроме того, было выявлено, что в пике N1/M100 наблюдалась разница в латерализации, и задержка имела только в правом полушарии (Jorgensen, Whitehouse, Fox, Maybery 2021).

Была исследована также взаимосвязь между корковыми слуховыми вызванными потенциалами и когнитивными, поведенческими или перцептивными качествами при аутизме. В частности, Робертс и коллеги обнаружили более длительные задержки M50 и M100 для простых тонов у минимально вербальных и невербальных детей с РАС по сравнению с вербальными детьми с РАС и детьми без особенностей развития. Примечательно, что эти замедленные нейромагнитные реакции, как было показано, связаны с низким уровнем развития языковых навыков (Roberts, Matsuzaki, Blaskey et al. 2019).

Изучая эту связь в отношении сенсорной реактивности, другие исследователи показали, что ослабление амплитуды N2 связано с сенсорной гипореактивностью и поведением, направленным на сенсорный поиск при аутизме (Donkers, Carlson, Schipul et al. 2020).

Связь показателей корковых слуховых вызванных потенциалов и особенностей сенсорной реактивности у детей с РАС, задержкой развития и нейротипичных детей изучалась в работе Данкерс и соавторов (Donkers, Carlson, Schipul et al. 2020).

Это исследование с использованием ЭЭГ оценивало слуховые потенциалы, связанные

с событиями, и их связи с клинически оцененными паттернами сенсорной реактивности у 28 детей с расстройствами аутистического спектра, 17 детей задержкой развития и 39 детей типичным развитием. Было показано, что спецификой группы детей с РАС было ослабление ориентировочных реакций — компонент P3a. Но ранние сенсорные реакции (компонент N2) были ослаблены как в группе РАС, так и в группе детей с задержкой развития по сравнению с нейротипичными детьми. Ослабление слуховых вызванных потенциалов, связанных с событиями, было связано с более тяжелыми паттернами гипореактивности или сенсорного поиска у детей с РАС и задержкой развития. Таким образом, хотя нарушения внимания могут быть уникальными для РАС, сенсорные нарушения возникают также и при задержке развития, что становится причиной нетипичного сенсорного поведения.

В исследовании Коттер и соавторов (Cotter, Tikir, Molholm 2020) участвовали 160 детей и подростков с РАС в возрасте от 6 до 18 лет. В контрольную группу вошли 142 нейротипичных ребенка сходного возраста. Авторы предположили, что дисфункции слухового восприятия, выявленные с помощью связанных с событиями слуховых вызванных потенциалов будут статистически связаны с тяжестью симптомов аутизма. Анализу подвергались показатели пиковых амплитуд N1 (раннего компонента вызванных потенциалов). Тяжесть симптомов аутизма оценивалась с помощью диагностического протокола наблюдения ADOS. Результаты показали, что в 72% случаев есть связь между особенностями слуховых вызванных потенциалов и тяжестью симптомов аутизма. Чем младше дети, тем более выражена эта связь.

МЭЭГ используют не только для изучения того, как мозг обрабатывает речь, исследователи пытаются понять механизмы гиперчувствительности к звукам, которая проявляется у существенного количества людей с РАС. Чувствительность к звукам можно изучать в двух измерениях:

- мгновенная реакция на звук (чувствительность к стимулу);
- привыкание к повторяющимся звуковым стимулам.

Ганди и соавторы (Gandhi, Tsourides, Singhal et al. 2021) показали, что у людей с аутизмом могут выявляться основополагающие особенности обработки сенсорной информации, такие как привыкание (габитуация). С помощью МЭЭГ и измерения электрической активности кожи у людей с РАС установили, что нет разницы

в чувствительности к слуховым стимулам, но у людей с РАС не наступает привыкание. Возможно это является причиной повышенной чувствительности к звукам у людей с РАС.

Мудитхая и соавторы также выявили особенности привыкания испытуемых с РАС к слуховым стимулам (Moodithaya, Bharath, Halahalli et al. 2020).

Они использовали для этого вызванные кожные вегетативные потенциалы (sympathetic skin response, SSR). Эти потенциалы связаны с реакцией симпатической нервной системы на стимул и иннервацией процесса потоотделения (судомоторная функция).

Сравнивали 40 детей с РАС и 40 детей без особенностей, регистрируя SSR в ответ на слуховой стимул. У детей с РАС привыкание к слуховому стимулу происходило значительно дольше. Латентные периоды были увеличены, не наблюдалось только разницы в амплитудах. Замедленный процесс привыкания к слуховому стимулу и особенности функционирования симпатической нервной системы могут быть, по мнению авторов, причиной эмоциональных и поведенческих особенностей, которые ассоциируются с РАС.

Интересная гипотеза была высказана ван Лаарховен (van Laarhoven 2021). То, как мы воспринимаем окружающий мир, основано не только на информации, которую мы получаем через наши органы чувств, но также формируется нашим прошлым опытом. Теория обработки и интеграции сенсорной информации и предыдущего опыта, так называемая теория прогностического кодирования, предполагает, что наш мозг непрерывно генерирует внутреннюю модель прогнозирования изменений в окружающем мире на основе информации, которую мы получили через наши органы чувств, и событий, которые мы пережили в прошлом. Способность предсказывать, что мы увидим, услышим, почувствуем в определенных ситуациях позволяет нам предвидеть появление сенсорных стимулов. По этой причине мы часто быстрее и точнее реагируем на предсказуемые сенсорные сигналы.

Признаки существования внутренней модели прогнозирования, о которой писал А. Н. Бернштейн еще в начале XX века, были обнаружены и на нейронном уровне.

Как это работает со слуховыми стимулами? Услышав, например, звук автомобильного гудка, наш мозг автоматически генерирует электрическую активность, которую можно измерить с помощью ЭЭГ. Когда мы сами инициируем появление того же звука, нажимая на гудок, мы

можем лучше предсказать, когда раздастся звук и как примерно он будет звучать. Это увеличение предсказуемости звука отражается в уменьшении сигнала ЭЭГ.

Когда мы слушаем серию предсказуемых звуков, в которых стимул неожиданно пропускается, мозг также генерирует четкий электрический сигнал, так называемую ошибку предсказания, которую можно измерить с помощью ЭЭГ.

Если человек с РАС нажимает сам на гудок, это не приводит к снижению электрической активности мозга. Также было обнаружено, что внезапное нарушение сенсорной стимуляции может привести к повышению электрической активности мозга у людей с РАС. Эти результаты свидетельствуют о том, что люди с РАС, по-видимому, менее способны предвидеть сенсорные стимулы и могут испытывать больше трудностей при обработке неожиданных изменений в сенсорной стимуляции.

Сниженная способность предвидеть сенсорные стимулы и справляться с неожиданными изменениями сенсорной стимуляции может не только привести к нетипичным поведенческим реакциям, включая недостаточную или повышенную чувствительность сенсорным стимулам (симптомы, распространенные при РАС), но также может иметь последствия для социального взаимодействия. В социальных ситуациях способность предвидеть, что говорит или делает другой, имеет решающее значение. Например, понимание сарказма требует интеграции тонких различий в слуховой (высота тона и просодия) и визуальной информации (выражения лица, язык тела). Людям с РАС часто бывает трудно правильно интерпретировать такие неоднозначные социальные сигналы.

Эту гипотезу проверили, сравнив электрофизиологические маркеры ошибок предсказания в появления слухового и зрительного стимула между группой аутичных людей и группой сопоставимых по возрасту людей с типичным развитием (van Laarhoven, Stekelenburg, Eussen, Vroomen 2020). В ходе ЭЭГ исследования была измерена мозговая активность участников во время неожиданных пауз в последовательности видеозаписей хлопка в ладоши. Результаты показали, что мозговая активность аутичных людей во время этих пауз была повышена по сравнению с лицами с типичным развитием. Эта повышенная активность указывает на то, что аутичные люди могут испытывать трудности с обработкой неожиданной сенсорной информации. Это может объяснить, почему аутичные люди часто перегружены сенсорной стимуля-

цией. Возможно, ошибки в прогнозировании появления сенсорных стимулов являются базовым дефицитом, лежащим в основе РАС.

Будущие исследования должны показать, испытывают ли люди с РАС также больше трудностей с предвидением сенсорных стимулов и обработкой неожиданных изменений в других сенсорных областях. В дополнение к расширению научных знаний об обработке сенсорной информации при РАС дальнейшее изучение нейронных механизмов сенсорного предвосхищения потенциально может привести к созданию электрофизиологического маркера РАС, который может быть применен в качестве диагностического инструмента. Такой биомаркер, возможно, можно было бы использовать в качестве объективного измерительного инструмента в клинической практике, особенно для людей, для которых поведенческие характеристики не всегда легко оценить.

Еще одна сходная особенность при РАС — проблемы со слуховым сенсорным стробированием. Сенсорный стробирующий механизм действует как фильтр, сортируя ненужную сенсорную информацию и защищая мозг от перегрузки стимулами. Он работает следующим образом: если два слуховых стимула подаются последовательно и коротким интервалом, то в норме происходит уменьшение амплитуды компонентов P1 и N1 в ответ на второй стимул, но не на первый. Это подавление амплитуды последнего стимула представляет собой фильтрацию. Хотя в литературе имеются противоречивые данные по этому вопросу, недавние исследования показывают, что у аутичных людей наблюдается умеренный дефицит сенсорного стробирования по сравнению с нейротипичными людьми. Примечательно, что у людей с РАС низкая амплитуда возникает в ответ на первый стимул (но не на второй), из-за этого может нарушаться фильтрация (Williams, Abdelmessih, Key, Woynaroski 2020).

P300 — это поздний положительный компонент связанных с событиями вызванных потенциалов. Его латентность составляет примерно 300 мс после предъявления стимула, который отличается от других повторяющихся стимулов. Несмотря на несколько гипотез о природе P300, наиболее убедительной является теория обновления контекста. Соответственно, P300 появляется во время обнаружения нового стимула, и представление старых стимулов обновляется в рамках управления процессами внимания.

Было установлено, что уменьшение латентности и увеличенные амплитуды P300 указывают на лучшую обработку информации.

Был изучен ход развития слухового P300 на протяжении всей жизни. Было обнаружено, что латентность P300 сокращается на некоторое время (до минимальных параметров) в детстве, а затем постепенно увеличивается с возрастом. Что касается амплитуды P300, то она увеличивается у детей до максимальной точки и с этого момента медленно уменьшается на протяжении всей жизни (van Dinteren, Arns, Jongsma, Kessels 2014).

Компонент P300 обычно оценивается в двух подкатегориях: P3a и P3b.

Участников просят замечать целевые редкие стимулы и указывать на них. Реакция, генерируемая на этот целевой стимул, является компонентом P3b. Считается, что P3b отражает сознательное распознавание целевых редких стимулов среди обычных и их связь в памяти с предыдущей информацией.

Компонент P3a получается путем пассивного прослушивания нецелевых редких стимулов. Высказывалось мнение о том, что компонент P3a отражает первоначальную осведомленность о стимулах, привлекающих внимание.

Как и в других случаях, литературные данные о P300 при РАС весьма противоречивы. Основными факторами, приводящими к таким разногласиям, являются различные парадигмы и экспериментальные схемы, используемые в исследованиях, а также маленькие размеры выборок некоторых из них.

Результаты метаанализа показали, что амплитуды P3b были значительно снижены в группе РАС по сравнению с нейротипичными испытуемыми. Общие компоненты P3 отража-

ют когнитивные процессы, процессы внимания и рабочей памяти. Однако значительные результаты были получены только в отношении амплитуды P3b, а не для амплитуды P3a. Это демонстрирует, что нарушение обработки информации происходит у людей с РАС только во время генерации ответа.

Задержка P300 является показателем времени между восприятием и реакцией. Хотя латентность P300 увеличивается при заболеваниях с когнитивными нарушениями (например, шизофрения), не было различий в латентности P3a и P3b между испытуемыми с РАС и испытуемыми контрольной группы (Cui, Wang, Liu, Zhang 2017).

Таким образом, обзор научных исследований показывает, что имеются веские доказательства того, что у людей с РАС наблюдаются нарушения обработки слуховой информации на корковом уровне. Тяжесть выявленных нарушений слухового восприятия статистически связана с тяжестью проявлений РАС и отклонений в языковом развитии. Особенности слухового восприятия при аутизме нуждаются в дальнейшем изучении.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

References

- Cui, T., Wang, P. P., Liu, S., Zhang, X. (2017) P300 amplitude and latency in autism spectrum disorder: A meta-analysis. *European Child and Adolescent Psychiatry*, vol. 26, no. 2, pp. 177–190. <https://doi.org/10.1007/s00787-016-0880-z> (In English)
- Donkers, F. C., Carlson, M., Schipul, S. E. et al. (2020) Auditory event-related potentials and associations with sensory patterns in children with autism spectrum disorder, developmental delay, and typical development. *Autism*, vol. 24, no. 5, pp. 1093–1110. <https://doi.org/10.1177/1362361319893196> (In English)
- Dwyer, P., de Meo-Monteil, R., Saron, C. D., Rivera S. M. (2021) Effects of age on loudness-dependent auditory erps in young autistic and typically- developing children. *Neuropsychologia*, vol. 156, article 107837. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107837> (In English)
- Efimova, V. L., Nikolaeva, E. I. (2019) The relationship of language and intelligence development to the maturity of the subcortical structures in children with specific language disorders. *Psychology in Russia: State of the Art*, vol. 12, no. 1, pp. 79–88. <https://doi.org/10.11621/pir.2019.0106> (In Russian)
- Efimova, V. L., Nikolaeva, E. I. (2020) The role of the vestibular system in the development of specific language disorders in children. *Human Physiology*, vol. 46, no. 3, pp. 306–311. <https://doi.org/10.1134/S0362119720030032> (In Russian)
- Gandhi, T. K., Tsourides, K., Singhal, N. et al. (2021) Autonomic and electrophysiological evidence for reduced auditory habituation in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 51, no. 7, pp. 2218–2228. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04636-8> (In English)

- Jorgensen, A. R., Whitehouse, A. J., Fox, A. M., Maybery, M. T. (2021) Delayed cortical processing of auditory stimuli in children with autism spectrum disorder: A meta-analysis of electrophysiological studies. *Brain and Cognition*, vol. 150, article 105709. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2021.105709> (In English)
- Ludlow, A., Mohr, B., Whitmore, A. et al. (2014) Auditory processing and sensory behaviours in children with autism spectrum disorders as revealed by mismatch negativity. *Brain and Cognition*, vol. 86, pp. 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.016> (In English)
- Moodithaya, S., Bharath, R., Halahalli, H. et al. (2020) Evaluation of sympathetic sudomotor responses to auditory stimuli in children with autism spectrum disorders. *Indian Journal of Psychiatry*, vol. 62, no. 5, pp. 494–500. https://doi.org/10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry_573_19 (In English)
- Näätänen, R., Kujala, T., Escera, C. et al. (2012) The mismatch negativity (MMN)—a unique window to disturbed central auditory processing in ageing and different clinical conditions. *Clinical Neurophysiology*, vol. 123, no. 3, pp. 424–458. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.09.020> (In English)
- O'Connor, K. (2012) Auditory processing in autism spectrum disorder: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol. 36, no. 2, pp. 836–854. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.008> (In English)
- Roberts, T. P., Matsuzaki, J., Blaskey, L. et al. (2019) Delayed M50/M100 evoked response component latency in minimally verbal/nonverbal children who have autism spectrum disorder. *Molecular Autism*, vol. 10, no. 1, article 34. <https://doi.org/10.1186/s13229-019-0283-3> (In English)
- Shafer, V. L., Yan, H. Y., Wagner, M. (2015) Maturation of cortical auditory evoked potentials (CAEPs) to speech recorded from frontocentral and temporal sites: Three months to eight years of age. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 95, no. 2, pp. 77–93. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.08.1390> (In English)
- Van Dinteren, R., Arns, M., Jongsma, M. L., Kessels, R. P. (2014) P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, vol. 9, no. 2, article e87347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087347> (In English)
- Van Laarhoven, T., Stekelenburg, J. J., Eussen, M. L., Vroomen, J. (2020) Atypical visual-auditory predictive coding in autism spectrum disorder: Electrophysiological evidence from stimulus omissions. *Autism*, vol. 24, no. 7, pp. 1849–1859. <https://doi.org/10.1177/1362361320926061> (In English)
- Van Laarhoven, T. (2021) Electrophysiological markers of predictive coding in multisensory integration and autism spectrum disorder. Ridderprint. Tilburg University. [Online]. Available at: <https://research.tilburguniversity.edu/en/publications/electrophysiological-markers-of-predictive-coding-in-multisensory> (accessed 15.10.2021) (In English)
- Williams, Z. J., Abdelmessih, P. G., Key, A. P., Woynaroski, T. G. (2020) Cortical auditory processing of simple stimuli is altered in autism: A meta-analysis of auditory evoked responses. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, vol. 6, no. 8, pp. 767–781. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.09.011> (In English)