

Применение искусственной нейронной сети для предсказания у детей в возрасте до 1 года последующей задержки развития речи: предварительные результаты

Кирилл Федорович Васильченко¹, Алена Владимировна Леонова², Григорий Михайлович Усов¹, Татьяна Викторовна Раева²

¹ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Омск, Россия
²ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Тюмень, Россия

Автор для корреспонденции: Кирилл Федорович Васильченко, kirill.f.vasilchenko@gmail.com

Аннотация

Обоснование: задержка речевого развития характеризуется качественным и количественным недоразвитием словарного запаса и несформированностью экспрессивной речи. Данное нарушение относится к наиболее легким речевым патологиям, однако при этом существует высокая вероятность наличия сопутствующей психической патологии и возникновения проблем адаптации в школьном возрасте. В этиологии задержки речевого развития установлена ее многофакторная природа. Таким образом, существует необходимость разработки инструмента, прогнозирующего формирование задержки речевого развития у детей для своевременного проведения профилактических мероприятий. **Цель исследования:** разработать с применением алгоритмов искусственного интеллекта инструмент прогнозирования у детей до 1 года последующей задержки речевого развития. **Пациенты и методы:** были обследованы 196 детей. Средний возраст составил 26,9 мес. ($SD \pm 5,5$ мес.). Выборка была разделена на две группы: в первую вошли пациенты с задержкой речевого развития ($n = 98$), во вторую — дети с нормальным речевым развитием ($n = 98$). Речевой статус оценивался с помощью опросника по определению речевого развития ребенка в возрасте от 18 до 36 мес. (Language Development Survey). В оценке факторов риска возникновения задержки речевого развития была использована «Анамнестическая карта ребенка». Для создания нейронной сети, предсказывающей у детей до 1 года задержку развития речи в дальнейшем, была разработана и обучена модель с помощью библиотеки Keras для языка программирования Python 3.0. **Результаты:** анализ эффективности работы нейронной сети показал высокий результат — 89% случаев во время обучения модели были определены верно. При этом чувствительность модели на проверочной выборке составила 100%, специфичность — 90%. **Выводы:** разработанный способ может быть использован в создании инструмента прогноза задержки речевого развития у детей в перспективе до трех лет, что позволит осуществлять дифференцированные лечебно-профилактические мероприятия, способствующие гармоничному развитию ребенка.

Ключевые слова: задержка речевого развития, прогноз, искусственный интеллект, нейросеть, машинное обучение

Для цитирования: Васильченко К.Ф., Леонова А.В., Усов Г.М., Раева Т.В. Применение искусственной нейронной сети для предсказания у детей в возрасте до 1 года последующей задержки развития речи: предварительные результаты. *Психиатрия*. 2022;20(3):57–64. <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2022-20-3-57-64>

RESEARCH

UDC 616.895.8 + 616-07

<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2022-20-3-57-64>

Artificial Neural Network in Prediction of Language Delay in Children Under 1 Year: Preliminary Results

Kirill F. Vasilchenko¹, Alena V. Leonova², Grigory M. Usov¹, Tatyana V. Raeva²

¹Omsk State Medical University, Omsk, Russia

²Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Corresponding author: Kirill F. Vasilchenko, kirill.f.vasilchenko@gmail.com

Summary

Background: the delay in language development is characterized by qualitative and quantitative underdevelopment of the vocabulary and the lack of formation of expressive speech. This violation belongs to the mildest speech pathologies, however, there is a high probability of the presence of concomitant mental pathology and the occurrence of adaptation problems at school age. In the etiology of delayed language development, its multifactorial nature has been established. Thus, there is a need to develop a tool that predicts the formation of a delay in speech development in children for the timely implementation of preventive measures. **Aim of the study:** to develop a tool for predicting speech development delay in children under one year old using artificial intelligence algorithms. **Patients and methods:** 196 children were examined. The mean age was 26.9 months ($SD \pm 5.5$ months). The sample was divided into two groups: the first included patients with delayed speech development ($n = 98$),

the second included children with normal speech development ($n = 98$). Speech status was assessed using a questionnaire to determine the speech development of a child aged 18 to 36 months (Language Development Survey). In assessing the risk factors for the occurrence of speech development delay, the "Anamnestic Card of the child" was used. To create a neural network that predicts speech delay in children under one year old, a model was developed and trained using the Keras library for the Python 3.0 programming language. **Results:** the analysis of the accuracy of the neural network showed a high result — 89% of the cases during the training of the model were identified correctly. At the same time, the sensitivity of the model on the test sample was 100%, and the specificity was 90%. **Conclusions:** the developed method can be used to create a tool for predicting speech development delay in children up to 3 years of age, which will allow for differentiated therapeutic and preventive measures that contribute to the harmonious development of the child.

Keywords: language delay, prediction, artificial intelligence, neural network, machine learning

For citation: Vasilchenko K.F., Leonova A.V., Usov G.M., Raeva T.V. Artificial Neural Network in Prediction of Language Delay in Children Under 1 Year: Preliminary Results. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2022;20(3):57–64. <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2022-20-3-57-64>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения задержки речевого развития (ЗРР) определяется увеличивающимся в последнее время числом детей с данной патологией. Во всех теориях формирования речи в детском возрасте подчеркивается взаимодействие врожденных способностей и средовых факторов, которые способствуют реализации генетически запрограммированных задатков [1].

ЗРР характеризуется качественным и количественным недоразвитием словарного запаса, несформированностью экспрессивной речи, отсутствием у ребенка фразовой речи к двум годам и связной речи к трем годам [2]. При этом сам процесс развития речи принципиально не нарушен. Распространенность ЗРР в популяции составляет 6–7%, при этом частота данной патологии у мальчиков в 2–3 раза выше, чем у девочек [3]. Диагноз ЗРР применим в отношении детей в возрасте до трех лет и используется в практике разных специалистов — логопедов, педагогов, психологов, неврологов и психиатров [4]. Темповая задержка речевого развития относится к наиболее легким формам ЗРР, так как имеет тенденцию к компенсации в течение нескольких лет. Однако существует высокая вероятность наличия сопутствующей психической патологии [5, 6], а также проблем адаптации в школьном возрасте [7, 8].

В соответствии с биопсихосоциальной моделью развития психических расстройств в этиологии ЗРР можно выделить группы факторов риска, воздействие которых обуславливает наличие и тяжесть данной патологии [9–11]. Основными факторами риска ЗРР являются биологические [12, 13], поэтому при изучении позднего формирования речевой функции следует обращать внимание на наличие аналогичных нарушений у ближайших родственников [14, 15].

Большое значение в развитии ЗРР имеют негативные факторы, влияющие на процесс формирования нервной системы в период беременности и родов. Угроза прерывания беременности, повышенный тонус матки, отеки, вирусные инфекции как генитальной, так и экстрагенитальной локализации, возникающие в период гестации, отрицательно сказываются и на состоянии самой женщины, на состоянии ребенка [16]. Неинфекционные болезни оказывают значительно меньшее патологическое влияние на развитие плода [17].

По данным отечественного исследования, определяющими факторами риска развития ЗРР служат осложнения периода родов [18]. Слабая родовая деятельность, требующая применения лекарственных препаратов или выполнения экстренной операции кесарева сечения, малый вес при рождении или крупный плод массой более 4000 г, отсутствие самостоятельной дыхательной деятельности у новорожденного часто связаны с последующими нарушениями речевого развития [19, 20]. Ключевым звеном патогенеза в этих случаях является задержка созревания коры головного мозга вследствие острой гипоксии родового периода и родовой травмы [16].

Результаты исследований взаимосвязи особенностей психического развития детей и гестационного срока родоразрешения неоднозначны. С одной стороны, имеются данные о том, что моторные и психические навыки у детей, рожденных преждевременно, отстают от нормы только до 6-месячного возраста, приближаясь к нормальным показателям уже к 24 мес. [21]. В других исследованиях была продемонстрирована значительная роль недоношенности и малого веса при рождении в формировании не только речевой функции, но и нарушений внимания в возрасте от 18 до 36 мес. [22]. В связи с преждевременным рождением важные этапы формирования ЦНС, а именно межнейронная организация и миелинизация нервных волокон, происходят уже в постнатальный период, что увеличивает его длительность и вероятность дизонтогенетических нарушений [23, 24].

Все указанные выше факторы оказывают негативное влияние на формирование нервной системы в период беременности, родов и раннего послеродового периода и могут приводить к возникновению речевой патологии в будущем. При этом отдельные неблагоприятные воздействия нельзя рассматривать как самостоятельную причину возникновения речевых расстройств. Психосоциальные факторы не имеют ключевого значения в возникновении ЗРР, но они ассоциированы с ухудшением динамики или прогноза этого нарушения [25, 26].

В связи с тем, что воздействие основных неблагоприятных факторов на ребенка происходит в возрасте до одного года, т.е. до появления первых слов [27], для прогнозирования риска возникновения ЗРР

необходимо проводить анализ релевантных показателей на разных этапах развития ребенка: в пренатальном и перинатальном периоде, а также в младенческом возрасте. Таким образом, существует необходимость разработки инструмента для прогнозирования формирования ЗРП у детей для своевременного проведения профилактических мероприятий.

На сегодняшний день прогресс в цифровых технологиях, достижения в области разработок систем искусственного интеллекта и машинного обучения оказывают значительное влияние на развитие здравоохранения [28]. Одним из важных преимуществ машинного обучения является способность обнаруживать значимые связи между несколькими переменными или их группами, которые обычно не учитываются при использовании традиционных линейных моделей [29]. В исследовании А. Borovsky и соавт. был осуществлен поиск факторов, оказывающих наибольшее влияние на формирование речевой дезорганизации у детей от 18 мес. с помощью методов машинного обучения [30]. В работе Е. Valavanі и соавт. представлена модель, с точностью до 90% предсказывающая на основании МРТ-картины головного мозга младенцев нарушения развития речи у детей к двум годам [31].

Показательным примером высокоэффективных алгоритмов машинного обучения являются искусственные нейронные сети [32]. Работа таких нейросетей основана на принципах обработки информации в биологических системах. Каждая нейронная сеть состоит из относительно простых элементов, имитирующих работу нейронов головного мозга. На входе нейросеть принимает один или несколько сигналов, обрабатывает их, преобразуя с помощью математических функций, и отправляет результат в выходной слой [33]. Сети способны запоминать новую информацию, анализировать ее и представлять выводы на основании скрытых паттернов, обнаруженных в массиве данных [34]. Современные тренды таковы, что искусственные нейронные сети постепенно приходят на замену классическим методам машинного обучения [35]. Искусственные нейросети были взяты на вооружение исследователями для решения широкого спектра промышленных и медицинских задач, требующих значительно большей точности, чем может предоставить человеческий ресурс [36, 37]. Учитывая вышесказанное, актуальной является задача изучения прогностических возможностей искусственных нейронных сетей в отношении ЗРП на доречевом этапе развития ребенка с последующей разработкой инструмента, основанного на обученном алгоритме.

Цель исследования: разработать инструмент прогнозирования у детей до 1 года задержки речевого развития (ЗРП) с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

Гипотеза исследования: искусственная нейронная сеть может предсказать развитие ЗРП у детей в возрасте до 1 года в перспективе до трех лет.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 196 детей. Их средний возраст составил 26,9 мес. ($SD \pm 5,5$). Все дети были осмотрены педиатром, неврологом и логопедом для исключения грубой органической патологии.

Соответствие принципам этики

Во всех случаях получено информированное согласие родителей на участие детей в обследовании. Исследование одобрено Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» (протокол №4 от 15 декабря 2021 г.) и проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации ВМА 1964 г., пересмотренными в 1975–2013 гг.

Ethic approval

The parents of all examined children signed the informed consent to the participation of children in a study. This study was approved by the Ethical Committee of Omsk State Medical University. His study complies with the Principles of the WMA Helsinki Declaration 1964, amended 1975–2013.

Выборка представлена двумя подгруппами. В основную подгруппу ($n = 98$) были включены дети, имеющие признаки ЗРП. Нарушение речи у детей из этой группы соответствовало «Расстройству экспрессивной речи» (F80.1) согласно диагностическим критериям МКБ-10. Речевой статус ребенка на момент обследования устанавливался с помощью опросника по определению речевого развития ребенка в возрасте от 18 до 36 мес. (Language Development Survey). В группу контроля ($n = 98$) вошли дети с нормативным развитием речи. Основным методом обследования был клинико-анамнестический, а инструментом сбора необходимых сведений являлась «Анамнестическая карта ребенка». Карта включала в себя вопросы, позволяющие оценить особенности внутриутробного периода развития, а также жизни ребенка до 1 года. Включение в обучающую базу данных только сведений, полученных при ретроспективной оценке развития ребенка с уже установленной ЗРП, позволило обучить нейронную сеть решать прогностическую задачу в перспективе до трех лет.

Выбор клинических и анамнестических факторов, включенных в модель, основан на результатах исследований, связывающих биологическое воздействие с формированием речевых функций. Анализировались такие показатели, как наследственная отягощенность речевой патологией, пол ребенка, возраст матери и отца, порядковый номер беременности и родов, метод родоразрешения, предлежание плода, осложнения беременности и родов, вес и рост ребенка при рождении, вид вскармливания, особенности психомоторного развития в младенческом возрасте, перенесенные заболевания в возрасте до 1 года. Ряд вопросов анкеты предполагали возможность указания нескольких вариантов ответа. В связи с этим для адаптации полученной базы данных для обучения нейросети такие варианты ответа

были преобразованы в отдельные переменные — наличие в анамнезе рассматриваемого признака было обозначено единицей, а его отсутствие нулем. Все целочисленные количественные показатели были нормализованы путем преобразования их значений в десятичные в интервале от 0 до 1. Таким образом, в сформированной базе нейронная сеть анализировала 58 входных переменных. Нормализация данных была проведена с использованием языка программирования Python 3.0, библиотек NumPy и Pandas.

Для проверки выдвинутой гипотезы нами была подобрана архитектура нейронной сети с помощью инструментов библиотеки Keras. Составленная нейросеть была обучена на массиве анамнестических данных 176 детей. Набранный массив данных был разделен на обучающую и валидационную выборку с помощью утилиты «train_test_split» библиотеки SciKit-Learn. Разделение массива данных было произведено таким образом, что 70% от всей выборки составили основу для обучения нейросети, а оставшиеся 30% — валидационную группу. При использовании данной утилиты был применен параметр «shuffle», позволивший рандомизировать выборку как в обучающем, так и в валидационном массивах данных. С целью вычисления точности работы нейронной сети в ходе ее обучения была выбрана

метрика «ассирусу». Пороговое значение выходного показателя нейронной сети было определено с помощью ROC-анализа и вычисления индекса Юдена в библиотеке SciKit-Learn для Python. Оценка эффективности алгоритма после обучения была проведена на тестовой выборке из 20 случаев, не включенных ранее в обучающий процесс.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После нормализации собранных данных был сформирован двумерный NumPy-массив с разрешением 58×176 . Архитектура разрабатываемого алгоритма была представлена нейронной сетью прямого распространения из шести Dense-слоев. Первый слой состоял из 800 нейронов с активационной функцией LeakyReLU. Второй Dense-слой был представлен 700 нейронами, третий — 300 нейронами. В указанных слоях была выбрана активационная функция ReLU. В четвертом слое, состоящем из 100 нейронов, была использована активационная функция LeakyReLU. Предпоследний слой включал в себя 50 нейронов. Учитывая решаемую нейронной сетью задачу бинарной классификации, на выходном слое был размещен один нейрон. На пятом и шестом слоях наилучшие показатели были достигнуты с выбором

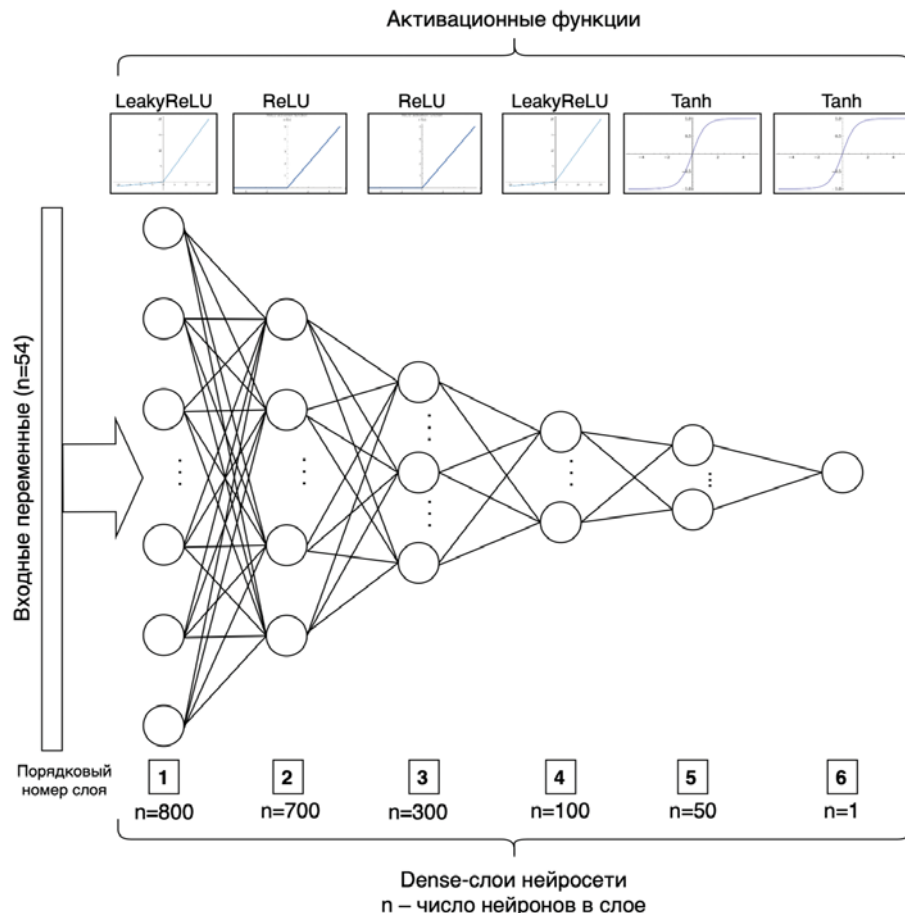


Рис. 1. Архитектура искусственной нейронной сети

Fig. 1. Artificial neural network architecture

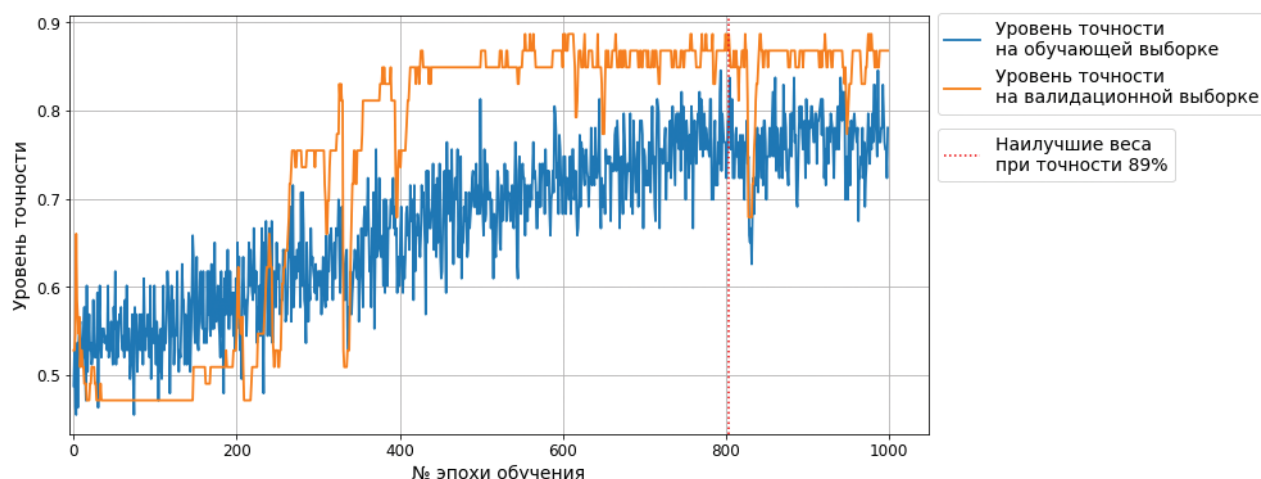


Рис. 2. График обучения нейронной сети

Fig. 2. Neural network training schedule

гиперболического тангенса в качестве активационной функции (рис. 1).

На вход в данную нейросеть был подан одномерный массив из 58 значений, отражающих сведения об особенностях доречевого этапа развития ребенка. На выходе была получена величина, определяющая вероятность формирования ЗРР в перспективе до трех лет. Составленная нейронная сеть была обучена на 1000 эпох, размер пакета в каждой из которых составил 16. Процесс обучения представлял собой метод «Обучения с учителем» (Supervised learning). Эталонные ответы содержались в массиве данных, отражающем сведения о наличии или отсутствии ЗРР у ребенка. В ходе подбора гиперпараметров нейросети было установлено, что наиболее эффективным алгоритмом оптимизации оказался Adam с шагом обучения, равным 0,00001. В качестве функции ошибки была применена функция бинарной перекрестной энтропии. В процессе обучения нейросети была использована функция обратного вызова, сохраняющая значения весов после каждой

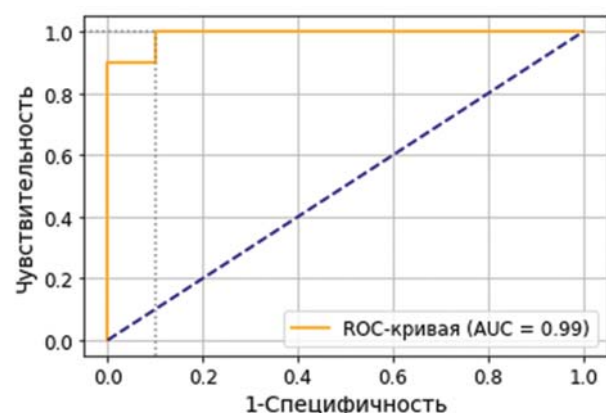


Рис. 3. ROC-анализ результата работы нейронной сети, определяющий возможную задержку речевого развития у ребенка до 1 года ($p < 0,0001$)

Fig. 3. ROC-analysis of the result of the neural network determining the possible delay in speech development in a child up to 1 year ($p < 0,0001$)

эпохи. Из тысячи сохраненных вариантов весов нами был выбран только один, с которым была достигнута наименьшая ошибка при наибольшей точности работы нейронной сети. В ходе обучения алгоритма удалось добиться точности 89%, что отражает долю правильно спрогнозированных случаев во время обучения (рис. 2).

Перед определением эффективности работы нейронной сети нами был проведен ROC-анализ (рис. 3) на тестовой выборке.

Величина площади под кривой ошибок (AUC) составила 0,99 при уровне статистической значимости менее 0,0001. Пороговое значение выходного показателя было равным 0,65. Уровни чувствительности и специфичности нейронной сети составили 1,0 и 0,9 соответственно. Такой результат позволяет говорить о возможности применения полученной модели для проведения скринингового исследования детей до года для оценки риска развития ЗРР. Анализ эффективности работы нейронной сети с учетом вычисленного порогового значения показал, что доля верно спрогнозированных случаев ЗРР в перспективе до трех лет составила 95% в тестовой выборке ($n = 19$).

Полученные данные являются предварительными. Проведенное исследование имеет некоторые ограничения. Кроме этого, в проведенном исследовании имел место ограниченный объем тестовой выборки, которая была включена в ROC-анализ. Набранная для исследования выборка может быть увеличена, что позволит уточнить эффективность модели нейронной сети. Также следует отметить, что показатели чувствительности и специфичности модели после включения в тестовую выборку большего числа случаев могут отличаться от полученных на текущем этапе работы. Помимо этого, мы предполагаем, что включение в число анализируемых переменных других анамнестических сведений об особенностях доречевого этапа развития ребенка может повысить показатели эффективности работы модели.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенной работы была подтверждена гипотеза о возможности предсказания искусственной нейронной сетью ЗРР у детей в возрасте до 1 года. Значимость предложенного нами метода определяется тем, что применение существующих скрининговых инструментов для определения уровня речевого развития в этом возрасте практически неэффективно. Несмотря на ограничения нашего исследования, его результаты уже сейчас позволяют говорить о высоком потенциале использования искусственных нейронных сетей в решении задачи прогноза ЗРР у детей в перспективе до трех лет. На основании полученных результатов обосновано применение обученной модели в практическом здравоохранении на этапе оказания первичной медико-санитарной помощи детям. Данный способ может лечь в основу инструмента прогноза ЗРР на доречевом этапе развития детей, что позволит осуществлять дифференцированный подход к организации и проведению профилактических мероприятий, способствующих гармоничному развитию ребенка. Модель включает в себя клинические сведения, не допускающие противоречивой интерпретации в разных медицинских организациях, что потенциально предполагает основу для повышения мощности и достоверности диагностических и прогностических свойств алгоритма.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Баранов АА, Маслова ОИ, Намазова-Баранова ЛС. Онтогенез нейрокогнитивного развития детей и подростков. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2012;(8):26–33. doi: [10.15690/vramn.v67i8.346](https://doi.org/10.15690/vramn.v67i8.346)
Baranov AA, Maslova OI, Namazova-Baranova LS. Ontogenesis of neurocognitive development of children and adolescents. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2012;(8):26–33. (In Russ.). doi: [10.15690/vramn.v67i8.346](https://doi.org/10.15690/vramn.v67i8.346)
2. Асмолова ГА, Заваденко АН, Заваденко ЕВ, Козлова НН, Медведев МИ, Рогаткин СО. Ранняя диагностика нарушений развития речи. Особенности речевого развития у детей с последствиями перинатальной патологии нервной системы. Клинические рекомендации. Москва: Российская ассоциация специалистов перинатальной медицины. 2014:57.
Asmolova GA, Zavadenko AN, Zavadenko EV, Kozlova NN, Medvedev MI, Rogatkin SO. Early diagnostics of speech development disorders. Features of speech development of children with consequences of perinatal pathology of the nervous system. Clinical recommendations. Moscow: Russian association of perinatal medicine specialists. 2014:57. (In Russ.).
3. Kalnak N, Peyrard-Janvid M, Sahlén B, Forssberg H. Family history interview of a broad phenotype in specific language impairment and matched controls. *Genes Brain Behav*. 2012;11(8):921–927. doi: [10.1111/j.1601-183X.2012.00841.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-183X.2012.00841.x)
4. Hawa VV, Spanoudis G. Toddlers with delayed expressive language: an overview of the characteristics, risk factors and language outcomes. *Res Dev Disabil*. 2014;35(2):400–407. doi: [10.1016/j.ridd.2013.10.027](https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.10.027)
5. Раева ТВ, Леонова АВ, Пробытук ВВ. Особенности психических нарушений, сопровождающих задержку речевого развития у детей раннего возраста. *Вопросы психического здоровья детей и подростков*. 2019;3:64–69.
Raeva TV, Leonova AV, Probotyuk VV. Features of mental impairments, comorbid developmental language delay in early age children. *Voprosy psikhicheskogo zdorov'ya detei i podrostkov*. 2019;(3):64–69. (In Russ.).
6. Чутко ЛС, Сурушкина СЮ, Яковенко ЕА, Анисимова ТИ, Чередниченко ДВ. Поведенческие нарушения у детей с расстройствами речевого развития. *Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова*. 2021;121(5):57–61. doi: [10.17116/jnevro202112105157](https://doi.org/10.17116/jnevro202112105157)
Chutko LS, Surushkina SYu, Yakovenko EA, Anisimova TI, Cherednichenko DV. Behavioral disorders in children with specific language impairment. *Zhurnal nevrologii i psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova/S.S. Korsakov journal of Neurology and Psychiatry*. 2021;121(5):57–61. (In Russ.). doi: [10.17116/jnevro202112105157](https://doi.org/10.17116/jnevro202112105157)
7. Коваль ОА. Связь психологического развития дошкольников, имеющих речевую патологию, и уровня развития эмоционального интеллекта родителей. *Клиническая и специальная психология*. 2020;9(1):142–168. doi: [10.17759/cpse.2020090108](https://doi.org/10.17759/cpse.2020090108) (online)
Koval OA. Relationship between the psychological development of preschool children with speech pathology and the level of development of emotional intelligence of parents. *Clinical psychology and special education*. 2020;9(1):142–168. (In Russ.). doi: [10.17759/cpse.2020090108](https://doi.org/10.17759/cpse.2020090108) (online)
8. Macroy-Higgins M, Montemarano EA. Attention and word learning in toddlers who are late talkers. *J Child Lang*. 2016;43(5):1020–1037. doi: [10.1017/S0305000915000379](https://doi.org/10.1017/S0305000915000379)
9. Карелина ИБ. Факторы риска возникновения речевых нарушений у детей от 0 до 3 лет и способы их предупреждения. *Специальное образование*. 2013;2:149–156.
Karelina IB. Risk factors for the occurrence of speech disorders in children from 0 to 3 years and ways to prevent them. *Spetsial'noe obrazovanie*. 2013;2:149–156. (In Russ.).
10. Moriano-Gutierrez A, Colomer-Revuelta J, Sanjuan J, Carot-Sierra JM. Variables ambientales y geneticas relacionadas con alteraciones en la adquisicion del lenguaje en la infancia [Environmental and genetic variables related with alterations in

- language acquisition in early childhood]. *Rev Neurol*. 2017;64(1):31–37.
11. Rudolph JM. Case History Risk Factors for Specific Language Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Speech Lang Pathol*. 2017;26(3):991–1010. doi: [10.1044/2016_AJSLP-15-0181](https://doi.org/10.1044/2016_AJSLP-15-0181)
 12. Леонова АВ, Раева ТВ. Факторы риска формирования задержки речевого развития у детей, пути оптимизации системы профилактических и реабилитационных мероприятий. *Уральский медицинский журнал*. 2018;(12):22–26. doi: [10.25694/URMJ.2018.12.15](https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.12.15)
Leonova AV, Raeva TV. The formation risk factors of the developmental language delay in children, ways to optimize the system of preventive and rehabilitation measures. *Ural medical journal*. 2018;(12):22–26. (In Russ.). doi: [10.25694/URMJ.2018.12.15](https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.12.15)
 13. Andres EM, Hafeez H, Yousaf A, Riazuddin S, Rice ML, Basra MAR, Raza MH. A genome-wide analysis in consanguineous families reveals new chromosomal loci in specific language impairment (SLI). *Eur J Hum Genet*. 2019;27(8):1274–1285. doi: [10.1038/s41431-019-0398-1](https://doi.org/10.1038/s41431-019-0398-1)
 14. Barry JG, Yasin I, Bishop DV. Heritable risk factors associated with language impairments. *Genes Brain Behav*. 2007;6(1):66–76. doi: [10.1111/j.1601-183X.2006.00232.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-183X.2006.00232.x)
 15. Newbury DF, Monaco AP. Genetic advances in the study of speech and language disorders. *Neuron*. 2010;68(2):309–320. doi: [10.1016/j.neuron.2010.10.001](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.10.001)
 16. Белоусова МВ, Уткузова МА, Гамирова РГ, Прусаков ВФ. Перинатальные факторы в генезе речевых нарушений у детей. *Практическая медицина*. 2013;(1):117–120.
Belousova MV, Utkuzova MA, Gamirova RG, Prusakov VF. Perinatal factors in the genesis speech disorders in children. *Clin Psychol and Special Education*. 2013;(1):117–120. (In Russ.).
 17. Tomblin JB, Smith E, Zhang X. Epidemiology of specific language impairment: prenatal and perinatal risk factors. *J Commun Disord*. 1997;30(4):325–344. doi: [10.1016/s0021-9924\(97\)00015-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(97)00015-4)
 18. Лукашевич ИП, Парцалис ЕМ, Шкловский ВМ. Перинатальные факторы риска формирования патологии речи у детей. *Рос. вестн. перинатол. и педиатр*. 2008;4:19–22.
Lukashevich IP, Partsalis EM, Shklovsky VM. Perinatal risk factors for speech disorders in children. *Ros. vestn. perinatal*. 2008;4:19–22. (In Russ.).
 19. Синельщикова АВ, Маслова НН. Ведущие перинатальные факторы, оказывающие влияние на речевое развитие детей дошкольного возраста. *Медицинский альманах*. 2014;33(3):95–97.
Sinel'chshikova AV, Maslova NN. Leading perinatal factors influencing development of speech of preschool children. *Meditsinskii al'manakh*. 2014;33(3):95–97. (In Russ.).
 20. Linsell L, Malouf R, Morris J, Kurinczuk JJ, Marlow N. Prognostic factors for poor cognitive development in children born very preterm or with very low birth weight: a systematic review. *JAMA Pediatr*. 2015;169:1162–1172. doi: [10.1001/jamapediatrics.2015.2175](https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.2175)
 21. Zuccarini M, Guarini A, Savini S, Iverson JM, Aureli T, Alessandrini R, Faldella G, Sansavini A. Object exploration in extremely preterm infants between 6 and 9 months and relation to cognitive and language development at 24 months. *Res Dev Disabil*. 2017;68:140–152. doi: [10.1016/j.ridd.2017.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.06.002)
 22. Ribeiro LA, Zachrisson HD, Schjolberg S, Aase H, Rohrer-Baumgartner N, Magnus P. Attention problems and language development in preterm low-birth-weight children: cross-lagged relations from 18 to 36 months. *BMC Pediatr*. 2011;11:59. Published 2011 Jun 29. doi: [10.1186/1471-2431-11-59](https://doi.org/10.1186/1471-2431-11-59)
 23. Заваденко НН, Щедеркина ИО, Заваденко АН, Козлова ЕВ, Орлова КА, Давыдова ЛА, Дороничева ММ, Шадрова АА. Отставание развития речи в практике педиатра и детского невролога. *Вопросы современной педиатрии*. 2015;1(14):132–139. doi: [10.15690/vsp.v14i1.1272](https://doi.org/10.15690/vsp.v14i1.1272)
Zavadenko NN, Shchederkina IO, Zavadenko AN, Kozlova EV, Orlova KA, Davydova LA, Doronicheva MM, Shadrova AA. Speech delay in the practice of a paediatrician and child's neurologist. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2015;14(1):132–139. (In Russ.). doi: [10.15690/vsp.v14i1.1272](https://doi.org/10.15690/vsp.v14i1.1272)
 24. van Noort-van der Spek IL, Franken MC, Weisglas-Kuperus N. Language functions in preterm-born children: a systematic review and meta-analysis. *Pediatrics*. 2012;129(4):745–754. doi: [10.1542/peds.2011-1728](https://doi.org/10.1542/peds.2011-1728)
 25. Marschik PB, Einspieler C, Garzarolli B, Prechtl HF. Events at early development: are they associated with early word production and neurodevelopmental abilities at the preschool age? *Early Hum Dev*. 2007;83(2):107–114. doi: [10.1016/j.earlhumdev.2006.05.009](https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.05.009)
 26. Wilson P, McQuaige F, Thompson L, McConnachie A. Language delay is not predictable from available risk factors. *Scientific World Journal*. 2013;2013:947018. doi: [10.1155/2013/947018](https://doi.org/10.1155/2013/947018)
 27. Duff FJ, Nation K, Plunkett K, Bishop D. Early prediction of language and literacy problems: is 18 months too early? *Peer J*. 2015;3:e1098. doi: [10.7717/peerj.1098](https://doi.org/10.7717/peerj.1098)
 28. Graham S, Depp C, Lee EE, Nebeker C, Tu X, Kim HC, Jeste DV. Artificial Intelligence for Mental Health and Mental Illnesses: an Overview. *Curr Psychiatry Rep*. 2019;21(11):116. Published 2019 Nov 7. doi: [10.1007/s11920-019-1094-0](https://doi.org/10.1007/s11920-019-1094-0)
 29. Johnson SLJ. AI, Machine Learning, and Ethics in Health Care. *J Leg Med*. 2019;39(4):427–441. doi: [10.1080/01947648.2019.1690604](https://doi.org/10.1080/01947648.2019.1690604)

30. Borovsky A, Thal D, Leonard LB. Moving towards accurate and early prediction of language delay with network science and machine learning approaches. *Sci Rep.* 2021;11(1):8136. doi: [10.1038/s41598-021-85982-0](https://doi.org/10.1038/s41598-021-85982-0)
31. Valavani E, Blesa M, Galdi P, Sullivan G, Dean B, Cruickshank H, Sitko-Rudnicka M, Bastin ME, Chin RFM, MacIntyre DJ, Fletcher-Watson S, Boardman JP, Tsanas A. Language function following preterm birth: prediction using machine learning [published online ahead of print, 2021 Oct 11]. *Pediatr Res.* 2021;1–10. doi: [10.1038/s41390-021-01779-x](https://doi.org/10.1038/s41390-021-01779-x)
32. Silver D, Schrittwieser J, Simonyan K, Antonoglou I, Huang A, Guez A, Hubert Th, Baker L, Lai M, Bolton A, Chen Y, Lillicrap T, Hui F, Sifre L, van den Driessche G, Graepel T, Hassabis D. Mastering the game of Go without human knowledge. *Nature.* 2017;550(7676):354–359. doi: [10.1038/nature24270](https://doi.org/10.1038/nature24270)
33. Hopfield JJ. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1982;79:2554–2558.
34. Cartwright H. Preface. Artificial neural networks. *Methods Mol Biol.* 2015;1260:v. doi: [10.1007/978-1-4939-2239-0](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2239-0)
35. Bini SA. Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care? *J Arthroplasty.* 2018;33(8):2358–2361.
36. Ho Y-S, Wang M-H. A bibliometric analysis of artificial intelligence publications from 1991 to 2018, COLLNET *Journal of Scientometrics and Information Management.* 2020;14(2):369–392. doi: [10.1080/09737766.2021.1918032](https://doi.org/10.1080/09737766.2021.1918032)
37. Васильченко КФ, Усов ГМ. Применение сверточных нейронных сетей в качестве инструмента объективизации диагностики шизофрении: пилотное исследование. *Социальная и клиническая психиатрия.* 2022;32(1):23–27.
Vasilchenko KF, Usov GM. Application of convolutional neural networks as a tool for objectifying the diagnosis of schizophrenia: a pilot study. *Social and Clinical Psychiatry* 2022;32(1):23–27. (In Russ.).

Сведения об авторах

Кирилл Федорович Васильченко, кандидат медицинских наук, кафедра психиатрии, медицинской психологии, Омский ГМУ, Омск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9910-2079>
kirill.f.vasilchenko@gmail.com

Алена Владимировна Леонова, кандидат медицинских наук, кафедра психиатрии и наркологии, Тюменский ГМУ, Тюмень, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-2353-4905>
a.v.kononova@gmail.com

Григорий Михайлович Усов, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой, кафедра психиатрии, медицинской психологии, Омский ГМУ, Омск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7619-1179>
usovgm@list.ru

Раева Татьяна Викторовна, профессор, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой, кафедра психиатрии и наркологии, Тюменский ГМУ, Тюмень, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0771-6656>
RaevaTV@tyumsmu.ru

Information about the authors

Kirill F. Vasilchenko, Cand. of Sci. (Med.), Department of Psychiatry and Medical Psychology, Omsk State Medical University, Omsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9910-2079>
kirill.f.vasilchenko@gmail.com

Alena V. Leonova, Cand. Of Sci. (Med.), Department of Psychiatry and Narcology, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2353-4905>
a.v.kononova@gmail.com

Grigory M. Usov, Dr. of Sci. (Med.), Head of Department, Department of Psychiatry and Narcology, Omsk State Medical University, Omsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7619-1179>
usovgm@list.ru

Tatyana V. Raeva, Professor, Dr. of Sci. (Med.), Head of Department, Department of Psychiatry and Narcology, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0771-6656>
RaevaTV@tyumsmu.ru

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при проведении данного исследования.
There is no conflict of interests.