

Получена: 07.04.2023/ Принята: 20.05.2023/ Опубликовано online: 30.06.2023

УДК 616.896-08

DOI 10.53511/PHARMKAZ.2023.32.31.007

Кошербаева Ляззат¹, Самамбаева Айжан², Сабырділда Жанар¹, Кожагельдиева Лаура³

¹НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова», Алматы, Казахстан

²AYeconomics Research Centre S.L., Сантьяго де Компостела, Испания

³Университет Сулеймана Демиреля, Алматы, Казахстан

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Резюме: Введение. Расстройства аутистического спектра (РАС) — это расстройство развития нервной системы, для которых характерны поведенческие и психологические проблемы у детей. Наблюдается рост распространённости РАС во всем мире. В последние десятилетия наблюдается рост исследований по применению искусственного интеллекта (ИИ), позволяющий ускорить процесс диагностики, и впоследствии раннего доступа к лечению детей с РАС.

Целью нашего обзора является изучить применение искусственного интеллекта для детей с РАС.

Методы. Был проведен обзор литературы существующих систематических обзоров и мета-анализов с 2013 по 2023 г. Поиск литературы проводился в базах данных PubMed, Кокрановская база систематических обзоров и Scopus. Поиск был ограничен человеческой популяцией, исследованиями на английском и русском языке. Каждое включенное исследование оценивалось по чек-листу AMSTAR-2.

Результаты. Мы проанализировали результаты пяти систематических обзоров, двух мета-анализов, трех систематических обзоров-мета-анализов. В настоящее время нет единых подходов применения ИИ для диагностики и лечения детей с РАС. Существующие алгоритмы машинного обучения подразделяется на контролируемое, полу-контролируемое, неконтролируемое. Большинство работ включали в себя оценку производительности машины опорных векторов, нейронные сети и деревья решений, из которых наибольшую эффективность продемонстрировал анализ нейронной сети.

ИИ применяется различными способами для диагностики и лечения РАС. Важно отметить, что системы на основе ИИ все еще разрабатываются и проверяются, и не все они еще широко применяются в клинической практике. Кроме того, модели ИИ следует использовать как дополнительный инструмент, а не как единственный метод диагностики, и всегда под наблюдением квалифицированного специалиста.

Выводы. Проведенный анализ показал рост исследований в области ИИ для диагностики и лечения РАС, который имеет большой потенциал в будущих разработках и производительности.

Ключевые слова: дети с расстройством аутистического спектра; искусственный интеллект; диагностика; машинное обучение

Кошербаева Ляззат¹, Самамбаева Айжан²,
Сабырділда Жанар¹, Кожагельдиева Лаура³

¹КЕАҚ «С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті», Алматы, Қазақстан

²AYeconomics Research Centre S.L., Сантьяго де Компостела, Испания

³Сүлейман Демирель университеті», Алматы, Қазақстан

АУТИЗМ СПЕКТРІ БҰЗЫЛҒАН БАЛАЛАРДЫ
ЕМДЕУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ
РӨЛІ: ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕ

Kosherbayeva Lyazzat¹, Samambayeva Aizhan², Sabyrdilda Zhanar¹, Laura Kozhageldiyeva³

¹Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

²AYeconomics Research Center S.L., Santiago de Compostela, Spain

³Suleiman Demirel University, Almaty, Kazakhstan

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR
THE TREATMENT OF CHILDREN WITH AUTISM
SPECTRUM DISORDER: INTERNATIONAL EXPERIENCE

Түйін: Аутизм спектрінің бұзылуы (АСБ) — бұл балалардағы мінз-құлық және психологиялық проблемалармен сипатталатын жүйке дамуының бұзылуы. Бүкіл әлемде АСБ таралуының өсуі байқалады. Соңғы онжылдықтарда диагностика процесін жеделдетуге мүмкіндік беретін жасанды интеллектті (ЖИ) қолдану және кейіннен АСБ бар балаларды емдеуге ерте қол жеткізу бойынша зерттеулердің өсуі байқалды.

Біздің шолуымыздың мақсаты - АСБ бар балаларға жасанды интеллектті қолдануды зерттеу.

Әдістер. Қолданыстағы жүйелі шолулар мен мета-талдаулардың әдебиеттеріне шолу 2013 жылдан 2023 жылға дейін жүргізілді, әдебиеттерді іздеу PubMed, Cochrane жүйелік шолулар базасы және Scopus мәліметтер базасында жүргізілді. Іздеу тек адам популяциясымен, ағылшын және орыс тілдеріндегі зерттеулермен шектелді. Өрбір енгізілген зерттеу AMSTAR-2 тексеру парағы бойынша бағаланды.

Нәтижелер. Біз бес жүйелі шолудың, екі мета-талдаудың, үш жүйелі шолудың-мета-талдаудың нәтижелерін талдадық. Қазіргі уақытта АСБ бар балаларды диагностикалау және емдеу үшін ЖИ қолданудың бірыңғай тәсілдері жоқ. Қолданыстағы машиналық оқыту алгоритмдері бақыланатын, жартылай бақыланатын, бақыланбайтын болып бөлінеді. Жұмыстардың көпшілігі тірек векторлық машинаның өнімділігін бағалауды, нейрондық желілерді және шешім ағаштарын қамтиды, олардың ішінде нейрондық желіні талдау ең жоғары тиімділікті көрсетті.

Жасанды интеллект АСБ диагностикасы мен емдеу үшін әртүрлі тәсілдермен қолданылады. Айта кету керек, ЖИ негізіндегі жүйелер әлі де әзірленуде және тексерілуде және олардың барлығы клиникалық тәжірибеде әлі де кеңінен қолданыла бермейді. Сонымен қатар, ЖИ модельдері диагностиканың жалғыз әдісі ретінде емес, қосымша құрал ретінде қолданылуы керек және ерқашан білікті маманның бақылауында болуы керек.

Қорытындылар. Жүргізілген талдау болашақ даму мен өнімділікте үлкен әлеуетке ие АСБ диагностикасы мен емдеуге арналған ЖИ зерттеулерінің өсуін көрсетті.

Түйінді сөздер: аутизм спектрі бұзылған балалар; жасанды интеллект; диагностика; машиналық оқыту

Resume: Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental disorder characterized by behavioral and psychological problems in children. There has been an increase in the prevalence of ASD worldwide. The increase of studies regarding the use of artificial intelligence (AI) that enables faster diagnosis, and subsequently early access to treatment for children with ASD has been noted in recent decades.

The aim of our review is to explore the application of AI for children with ASD.

Methods. A literature review of existing systematic reviews and meta-analyses from 2013 to 2023 was conducted. Literature searches were performed in PubMed, Cochrane Database of Systematic Reviews, and Scopus. The search was limited to the human population, studies in English and Russian. Each included study was assessed against the AMSTAR-2 checklist.

Results. We analyzed the results of five systematic reviews, two meta-analyses, three systematic reviews-meta-analyses. Currently, there is no unified approach to the use of AI for diagnostic and treatment aims of children with ASD. Existing machine learning algorithms are divided into supervised, semi-supervised, unsupervised. Most of the work included support vector machine performance evaluation, neural networks and decision trees, of which the neural network analysis demonstrated the greatest efficiency.

AI is being applied in a variety of ways to diagnose and treat ASD. It is important to note that AI-based systems are still being developed and tested, and not all of them are yet widely used in clinical practice. In addition, AI models should be used as an additional tool, not as the only diagnostic method, and always be conducted under the supervision of a qualified specialist.

Conclusion. The analysis carried out showed the growth of research in the field of AI for the diagnosis and treatment of ASD, which has great potential in future developments and performance.

Keywords: children with autism spectrum disorder; artificial intelligence; diagnostics; machine learning

Введение. Расстройство аутистического спектра (РАС) — это расстройство развития нервной системы, характеризующееся дефицитом социального общения, наличием ограниченных интересов и повторяющимся поведением, которое поражает 1 из 160 детей во всем мире, где соотношение между мужским и женским полом составило 4:1 [1-3].

Данные подтверждают глобальный рост распространенности РАС за последние годы. Распространенность РАС составляла 1,70 и 1,85% у детей в США в возрасте 4 и 8 лет соответственно, в Европе колебалась от 0,38 до 1,55%, в Израиле — 4,8%; в Исландии — 3,13%; в США — 1,7%; в Катаре — 1,14%; в Иране — 0,06% [4-10]. В Южной Корее распространенность РАС была в 2,7 раза выше среди мальчиков (13,5 на 1000 рождений), чем у девочек (5,0 на 1000 рождений), а также из 467360 детей, родившихся в 2012 г., у 9,4 на 1000 рождений был диаг-

нострирован РАС до 2020 г. Риск смертности от всех причин был выше среди детей с РАС, и значительно выше среди девочек [11]. В Китае распространенность РАС среди детей 6-12 лет составил 0,70%, где у мальчиков (0,95%) был выше, чем у девочек (0,30%; $P < 0,001$), из 363 подтвержденных случаев РАС 43,3% были впервые диагностированы, и большинство из них (90,4%) посещали обычные школы, а 68,8% детей с РАС имели как минимум одно сопутствующее нейропсихиатрическое заболевание [12].

Исследования за 20-летний период (1998-2018 гг.) показали, что люди с РАС 6,4% лиц умерли в среднем возрасте 39 лет, где причины смерти связаны с хроническими заболеваниями (рак и болезни сердца), несчастные случаи (удушение едой и случайное отравление) и осложнения со здоровьем из-за побочных эффектов лекарств. Значимыми предикторами смертности были уровни на-

рушений социальной взаимности в раннем детстве и высокие уровни функциональных нарушений [13].

Сложности диагностики РАС приводят к позднему выявлению заболевания, а также к временному и финансовому бремени. Помимо этого, семьи, имеющие детей с РАС, сталкиваются с эмоциональными трудностями и психологическими расстройствами [14]. Предложено несколько диагностических инструментов для раннего скрининга РАС в учреждениях первичной медико-санитарной помощи, которые могут быть эффективным методом ускорения диагностического процесса и более быстрого начала персонализированной терапии [15]. Методы нейровизуализации (функциональные/структурные магнитно-резонансная томография) и психологические тесты, применяемые для обнаружения РАС, часто является трудоемкой и требует много времени. С целью оказания помощи врачам-специалистам при диагностике РАС было разработано несколько систем автоматизированного проектирования, основанных на искусственном интеллекте (ИИ). Обычное машинное обучение (МО) и глубокое обучение (ГО) — самые популярные схемы ИИ, используемые для диагностики РАС [16].

Целью нашего обзора является изучить применение искусственного интеллекта для детей с РАС.

Методы. В соответствии Kitchenham мы использовали три этапа: планирование обзора, разработка исследовательского вопроса, проведение обзора, выбор и оценка качества исследований, включенных в анализ, и описание результатов [17].

Исследовательский вопрос включал изучение роли ИИ для детей с РАС. Поиск литературы проводился в следующих библиографических базах данных: PubMed,

Кокрановская база данных систематических обзоров и Scopus. Стратегия поиска включала контролируемый словарный запас, такой как MeSH (медицинские предметные заголовки) Национальной медицинской библиотеки, и ключевые слова: (((РАС) или (Аутизм)) и ((дети) или (малыши) или (младенцы)) и ((машинное обучение) или (искусственный интеллект)) или ((диагностика) или (социальные динамические стимулы) или (профилактика) или (обучение))). Были применены методологические фильтры, чтобы ограничить поиск систематическими обзорами, метаанализами. Поиск был ограничен английским и русским языками, опубликованными в период с января 2013 года по январь 2023 года. Поиск был ограничен человеческой популяцией.

На первом этапе двумя исследователями были оценены заголовки и абстракты, после чего отобраны полные статьи для глубокого изучения исследовательского вопроса. Была проведена оценка соответствия полных статей критериям включения в обзор.

Критерии включения: дети с РАС, систематические обзоры (СО), мета-анализы (МА), доступность полного текста, применение технологии ИИ.

Критерии исключения: когортные исследования, нерандомизированные клинические испытания и другие виды исследования, животные, текущие исследования.

Каждое включенное исследование оценивалось по контрольному чек-листу AMSTAR-2 [18].

После исключения повторных работ (дубликатов), всего было выявлено 34 исследования. После оценки заголовков и аннотаций были исключены 7 исследований и 27 потенциально релевантных исследований из электронного поиска были извлечены для полнотекстового

Таблица 1 - Характеристика включенных исследований

Авторы	Вид исследования	База данных поиска	Количество статей, включенных в анализ	Критерий включения
Zhang S . и др., 2022 [19]	Систематический обзор	PubMed и Web of Science (январь 1995 по 31 апреля 2022)	448	Была включена только литература, связанная с лечением РАС с помощью ИИ
Minissi M . и др., 2022 [20]	Систематический обзор	PubMed Central® and Scopus® database (с 2010 по 6 июля 2020)	11	Пациенты с диагнозом высокого/низкого функционирования РАС; контрольные группы включали как минимум выборку детей с типичным развитием; экспериментальные парадигмы для измерения социального визуального и ее отсутствия, представленные на экране дисплея; показатели движения глаз включали фиксации и саккады; средний возраст участников был от 2 до 10 лет, не менее 10 участников; ранее не опубликованные данные; рандомизированные контрольные испытания (РКИ)
Сапо S. и др., 2021 [21]	Систематический обзор	Scopus (1988-2020); IEEE Xplore (2005-2020); Springer (1987-2021 - информатика и инженерные дисциплины); Web of Science (2003-2021)	46	статьи из дисциплин, связанных с информатикой и робототехникой; только статьи, лекции и главы книг; модели, ориентированные на физических роботов (не компьютер-аватар или искусственный агент).

Alqaysi M. и др., 2022 [22]	Систематический обзор	Web of Science (WoS), Science Direct (SD), IEEE Xplore digital library и Scopus с 2017-2021	40	Исследования в английских журналах или материалах конференций В исследованиях, связанных с различными контекстами, такими как диагностика, обнаружение и прогнозирование аутизма, используемые различные методы, алгоритмы и методы искусственного интеллекта для оптимизации процессов PAC и улучшения процесса принятия решений по диагностике. Вышеуказанные контексты были проведены на основе медицинских лабораторных исследований, социальной демографии, особенностей семьи и критериев, основанных на опросниках.
Cavus N. и др., 2021 [31]	Систематический обзор	Web of Science (WoS), PubMed, IEEE Xplore digital library и Scopus с 2011-2020	22	Статьи, опубликованные на английском языке Документы, опубликованные за последние десять лет с 2011 г. по 2021 Полнотекстовые документы, доступные и загружаемые Исследования, в которых использовались поведенческие данные Исследования, в которых машинное обучение использовалось в качестве основного метода Исследования, в которых аутизм считался основным оцененным расстройством
Ritu Gautam . и др., 2020 [32]	метаанализ	2010–2019	136	Неврологические расстройства и существующие различные методы и платформы глубокого обучения, существующие подходы в диагностике неврологических и нервно-психических расстройств. Также авторы изучили тенденции публикации статей с методами глубокого обучения в диагностике неврологических и нервно-психических расстройств.
Song D. и др., 2021 [38]	систематический обзор мета-анализ	Embase, PubMed и Scopus (2010-апрель 2021)	44	Рецензируемые, написанные на английском языке рукописи, доступные онлайн через электронную индексацию, удовлетворяющие следующим условиям: алгоритмы машинного обучения с данными нейровизуализации использовались в качестве индексного теста, чтобы отличить людей с PAC от типичных детей; PAC был диагностирован с использованием признанных на международном уровне критерий (DSM-V или МКБ 10) или золотой стандарт диагностической оценки (ADOS, пересмотренное интервью по диагностике аутизма ADI-R) в качестве эталонного стандарта, участники получили как индекс и эталонные стандартные тесты с ослеплением оценщиков.
Santana C. и др., 2022 [40]	систематический обзор мета-анализ	Нет данных	55	данные фМРТ в состоянии покоя (rs-fMRI)
Quaak M. и др., 2021 [41]	систематический обзор мета-анализ	PUBMED and IEEE Xplore (2013-сентябрь 2019)	22	Статьи были включены, если они представляли собой рецензируемую полнотекстовую оригинальную исследовательскую статью, написанную на английском языке с использованием модели глубокого обучения для классификации психического расстройства с использованием (f) МРТ

обзора. На втором этапе исключены исследования, связанные с клиническим состоянием (изучение биомаркеров), предварительным обзором, библиометрический анализ (не CO либо MA), а также не включающие применение ИИ для детей с РАС 16 статей, для 2 статей не было полнотекстового доступа. Таким образом, в анализ включены 9 исследований, из них пять систематических обзоров, один мета-анализ, три систематических обзоров-мета-анализов. Краткое описание исследований представлены в таблице 1.

Результаты. Shouyao Zhang в систематическом обзоре включил исследования с января 1995 по апрель 2022 г. Авторы определили рост количества исследований, где применяются ИИ при РАС, в частности в развитых странах в Европе и США. В данном CO были выявлены две движущие силы развития ИИ как потребность глобального рынка и технологические достижения. Видами ИИ для лечения РАС были как носимые устройства и технология интерфейса мозг-машина, которая стала новой волной для исследований и, как ожидается, станет потенциальным методом лечения РАС в будущем. Также авторы отмечают, что приоритетом глобальных исследований будет восстановление социальной функции пациентов с РАС [19].

Другой систематический обзор проведенный Maria Eleonora Minissi и соавторами, включил в анализ 11 статей, где выявили, что в большинстве исследованиях использовались типичные контролируемые алгоритмы машинного обучения для прогнозирования и классификации РАС. Исследования с использованием статических социальных стимулов, которые составляют большинство, использовали KNN, машину опорных векторов (support vector machine) и рекуррентные нейронные сети, тогда как исследования с использованием динамических социальных стимулов оценивали производительность машины опорных векторов, искусственных нейронных сетей и рекуррентных нейронных сетей. Комбинация различных элементов (например, зависимых переменных, стимулов) при использовании статического социальных стимулов, повышала производительность машины опорных векторов, обеспечивая более сильные результаты в классификации РАС, тогда как динамические социальные стимулы из-за большего количества деталей и наличия как анимации, так и комбинированных социальных элементов могут повысить способность алгоритма машинного обучения различать РАС. В дополнение по мнению авторов метод опорных векторов более перспективен и экономичен, поскольку требует меньшего количества параметров для обучения и меньших вычислительных затрат, а также исследование другой модели машинного обучения, такие как чередующееся дерево решений, деревья решений и случайный лес (random forest), возможно покажут уникальный подход машинного обучения для оценки РАС [20]. В систематическом обзоре Сапо и соавторами был проведен анализ интеллектуальных методов аффективного общения для социального робота и применение модели

аффективной коммуникации для детей с РАС и детей без РАС. Авторы выявили наличие различных роботов для поддержки жизнедеятельности детей с РАС, однако наблюдаются сложности в проектировании поведения ребенка для эффективной коммуникации робота с ребенком с РАС, соответственно разработка программ требует взаимодействия экспертов из разных областей с единым видением. Таким образом, авторы отмечают, что существующие модели ориентированы на взрослых, нежели на детей, и на виртуальных агентах, а также были больше ориентированы на когнитивные, чем на аффективные архитектуры. Тем не менее, по мнению авторов, в будущем аффективные социальные роботы могут стать альтернативой вспомогательной терапией для детей с РАС, у которых есть проблемы, связанные с эмоциональным дефицитом [21].

В систематическом обзоре Alqaysi был сделан акцент на три вопроса: улучшение ранней диагностики и лечения лиц с РАС, настройка классификаторов машинного обучения и эффективность исследований на РАС в раннем возрасте [22]. По первому вопросу авторы подтверждают, что существующие исследования в области ИИ широко применяются во многих областях для достижения лучших результатов прогнозирования и диагностики, что позволяет изучить возможности улучшения методологии его лечения [22-24]. Настройка классификаторов машинного обучения позволяет повысить эффективность диагностики РАС, путем объединения данных из множества различных источников [22,25,26]. По третьему вопросу для эффективной ИИ важно определение различных видов факторов риска РАС [27]. Авторы отмечают, что проведение исследований в раннем возрасте на определение РАС свидетельствует о том, что алгоритмы ИИ позволяют снизить затраты на здравоохранение [28,29]. Сложности с прогнозированием РАС связаны со сложностью дифференцирования множества других психических расстройств, некоторые проявления которых очень похожи на проявления с симптомами РАС [23,30].

Систематический обзор по применению ИИ для поведенческой оценки РАС показывают применение элементов инструмента скрининга, таких как ADI-R и ADOS-G в качестве входных данных, где чаще всего применяются алгоритмы машин опорных векторов, варианты дерева решений, метод случайного леса (random forest) и нейронные сети. По мнению авторов оценка РАС на основе ИИ с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии (МРТ), отслеживания глаз и генетических данных имеет потенциал для развития в данной области [31].

Ritu Gautam [32] в метаанализе для диагностики РАС с использованием различных методов глубокого обучения определил методы позволяющие эффективно выявить РАС у детей: метод расширения данных (DE) с помощью патчей для многоканальных сверточных нейронных сетей (CNN) с целью выявления риска аутизма у младенцев в возрасте 24 месяцев [33]; метод отбора признаков

на основе глубоких нейронных сетей [34]; инновационный подход к глубокому обучению, основанный на гибридном подходе сети мозга и глубокой нейронной сети [35]; автоматическая стереотипная моторно-двигательная система на основе сверточной нейронной сети [36]; глубокая нейронная сеть превосходила машины опорных векторов и случайный лес с точностью, чувствительностью и специфичностью 70%, 74% и 63% соответственно [37]. В другом систематическом обзоре-мета-анализе были исследованы данные нейровизуализации с алгоритмами машинного обучения как объективного метода выявления лиц с РАС. Song и соавторы отметили отсутствие единого стандартного протокола для обработки данных нейровизуализации или реализации алгоритмов машинного обучения [38]. Тем не менее авторы выявили, что более высокая совокупная чувствительность была связана с включением как мужчин, так и женщин, сочетанием структурных и функциональных методов нейровизуализации или использованием ЭЭГ. В то время как более высокая специфичность была получена в исследованиях, в которых не использовался атлас мозга [38]. Также авторы предположили, что дети с РАС имеют другую топологию сети мозга, характеризующуюся пониженной когерентностью дальнего действия (особенно между лобной и затылочной долями), но повышенной связью ближнего действия между лобной и теменной/височной долями [38]. Авторы также определили, что для поддержки высокой производительности, классификации при воздействии новых входных данных, алгоритм обучения с учителем необходимо постоянно переобучать [38, 39]. Еще в одном мета-анализе-систематическом обзоре при анализе исследований машина опорных векторов определена чувствительность 76,3% (95% ДИ 73,2–79,2%), специфичность 77,5% (95% ДИ 73,7–80,8%), тогда как исследования искусственной нейронной сети имели чувствительность 68,4% (95% ДИ 65–71,5%), специфичность 70,2% (95% ДИ 66,2–73,9%). Также авторы отмечают рост исследований с использованием методов искусственной нейронной сети, что делает его вторым наиболее часто используемым методом в абсолютных числах и первым, если рассматривать только статьи, опубликованные в 2019 году. Многие классификаторы искусственных нейронных сетей использовали методы глубокого обучения, особенно Convolutional Neural. Сеть, соответствующая более чем 35% методов искусственной нейронной сети [40]. Еще в одном мета-анализе и систематическом обзоре авторы отмечают использование разнообразных входных данных, моделей и подмножеств данных, что затрудняет прямое сравнение между исследованиями [41].

Дискуссия. Данная работа включает обзор литературы применения ИИ для детей с РАС, который позволяет расширить знания в данной области среди заинтересованных сторон. У детей с РАС определены три поведенческих расстройства, как дефицит социального взаимодействия, нарушения вербальных и невербальных коммуникативных навыков и преобладание повторяющихся

нефункциональных действий [42].

Мы проанализировали использования ИИ на разных этапах лечения и диагностики детей с РАС. В последние годы наблюдается рост исследований по применению ИИ в диагностике и лечении детей с РАС. Их применяют например:

Трекинг зрения: системы трекинга зрения на основе ИИ могут анализировать выражение лица и язык тела, чтобы обнаруживать признаки аутизма у людей. Данные системы можно научить распознавать черты лица, движения и позы, связанные с аутизмом.

Обработка речи и языка. Алгоритмы ИИ можно использовать в целях анализа речевых моделей и использования языка у людей с аутизмом. Данные алгоритмы могут обнаруживать вариации просодии, интонации и других особенностей, связанных с аутизмом.

Машинное обучение. Алгоритмы машинного обучения можно использовать для анализа больших объемов данных об аутизме, включая генетические данные, изображения мозга и поведенческие данные, для выявления закономерностей и маркеров, связанных с расстройством, что может значительно помочь в ранней диагностике и лечении.

Обработка естественного языка (НЛП): НЛП можно использовать для анализа языковых способностей людей с аутизмом путем анализа их письменной и устной речи.

Прогностическое моделирование: прогностическое моделирование на основе ИИ можно использовать для прогнозирования развития симптомов аутизма у младенцев и детей младшего возраста путем анализа их поведения, социальных взаимодействий и других характеристик.

Тем не менее нами выявлено отсутствие единых подходов применения ИИ. Были определены алгоритмы машинного обучения, которые подразделяются на контролируемое, полу-контролируемое, неконтролируемое и обучение с подкреплением [43], из которых чаще всего использовались контролируемые алгоритмы, наиболее распространенными из которых были машины опорных векторов, нейронные сети и деревья решений, несмотря на наличие определенных ограничений, как переобученность и перетренированность [44,40]. Следовательно, передовые контролируемые методы, такие как нейронные сети, продемонстрировали производительность, в отличие от машины опорных векторов или Naïve Bayes. В связи с малыми выборками участников для изучения производительности полуконтролируемых подходов необходимы дополнительные исследования [45,46]. Авторы метаанализа показывают, что использование полу-управляемых алгоритмов машинного обучения, основанных на комбинированных структурных и функциональных данных нейровизуализации, может стать прочной основой для будущих исследований [38]. Данное исследование имеет несколько ограничений: полученные записи основывались на нескольких поисковых терминах, используемых в поисковом запросе и поиск был проведен в трех базах данных, что связано с ограниченным временем, а также в анализ были вк-

лючены только работы на английском и русском языках, за последний десятилетний период, соответственно возможен риск пропуска релевантных исследований на других языках, более ранних работ.

Выводы. Проведенный анализ показал рост исследований в области ИИ для диагностики и лечения РАС. Ис-

следователи отмечают, что возможности ИИ могут способствовать раннему выявлению заболевания и сокращению расходов. Несмотря на большие перспективы применения ИИ для диагностики аутизма, отмечаются значительные риски, связанные со сложностью существующих диагностических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington: American Psychiatric Publishing, 2013.
- 2 World Health Organization (2019). Autism spectrum disorders. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- 3 Fombonne E (2009) Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatr Res* 65:591–598 72. Halladay AK, Bishop S, Constantino JN, Daniels AM, Koenig K, Palmer K, Messinger D, Pelphrey K, Sanders SJ, Singer AT, Taylor JL, Szatmari P (2015) Sex and gender differences in autism spectrum disorder: summarizing evidence gaps and identifying emerging areas of priority. *Molecular autism* 6:36
- 4 Bougeard C, Picarel-Blanchot F, Schmid R, Campbell R, Buitelaar J. Prevalence of Autism Spectrum Disorder and Co-morbidities in Children and Adolescents: A Systematic Literature Review. *Front Psychiatry*. 2021 Oct 27;12:744709. doi: 10.3389/fpsy.2021.744709.
- 5 Baio J, Wiggins L, Christensen DL, Maenner MJ, Daniels J, Warren Z, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years - autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2014. *MMWR Surveill Summ*. 2018;67:1.
- 6 Qiu S, Lu Y, Li Y, Shi J, Cui H, Gu Y, et al. Prevalence of autism spectrum disorder in Asia: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Res*. 2020;284:112679.
- 7 Delobel-Ayoub M, Ehlinger V, Klapouszczak D, Maffre T, Raynaud JP, Delpierre C, et al. Socioeconomic disparities and prevalence of autism spectrum disorders and intellectual disability. *PLoS One*. 2015;10(11):e0141964.
- 8 Davidovitch M, Hemo B, Manning-Courtney P, Fombonne E. Prevalence and incidence of autism spectrum disorder in an Israeli population. *J Autism Dev Disord*. 2013;43:785–793.
- 9 Alshaban F, Aldosari M, Al-Shammari H, El-Hag S, Ghazal I, Tolefat M, et al. Prevalence and correlates of autism spectrum disorder in Qatar: a national study. *J Child Psychol Psychiatry Allied Discip*. 2019;60:1254–1268
- 10 Mohammadi MR, Ahmadi N, Khaleghi A, Zarafshan H, Mostafavi SA, Kamali K, et al. Prevalence of autism and its comorbidities and the relationship with maternal psychopathology: a national population-based Study. *Arch Iran Med*. 2019;22:546–553.
- 11 Yoo SM, Kim KN, Kang S, Kim HJ, Yun J, Lee JY. Prevalence and Premature Mortality Statistics of Autism Spectrum Disorder Among Children in Korea: A Nationwide Population-Based Birth Cohort Study. *J Korean Med Sci*. 2022 Jan 3;37(1):e1. doi: 10.3346/jkms.2022.37.e1.
- 12 Zhou H, Xu X, Yan W, Zou X, Wu L, Luo X, Li T, Huang Y, Guan H, Chen X, Mao M, Xia K, Zhang L, Li C, Zhang X, Zhou Y, Ding D, Shih A, Fombonne E, Zheng Y, Han J, Sun Z, Jiang YH, Wang Y; LATENT-NHC Study Team. Prevalence of Autism Spectrum Disorder in China: A Nationwide Multi-center Population-based Study Among Children Aged 6 to 12 Years. *Neurosci Bull*. 2020 Sep;36(9):961-971. doi: 10.1007/s12264-020-00530-6. Epub 2020 Jun 30.
- 13 Smith DaWalt L, Hong J, Greenberg JS, Mailick MR. Mortality in individuals with autism spectrum disorder: Predictors over a 20-year period. *Autism*. 2019 Oct;23(7):1732-1739. doi: 10.1177/1362361319827412. Epub 2019 Feb 28.
- 14 Sharma M. Improved autistic spectrum disorder estimation using Cfs subset with greedy stepwise feature selection technique. *International Journal of Information Technology* . 2022;14(3):1251–1261. doi: 10.1007/s41870-019-00335-5
- 15 Sobieski M, Sobieska A, Sekulowicz M, Bujnowska-Fedak MM. Tools for early screening of autism spectrum disorders in primary health care - a scoping review. *BMC Prim Care*. 2022 Mar 15;23(1):46. doi: 10.1186/s12875-022-01645-7.
- 16 Moridian P, Ghassemi N, Jafari M, Salloum-Asfar S, Sadeghi D, Khodatars M, Shoeibi A, Khosravi A, Ling SH, Subasi A, Alizadehsani R, Gorriz JM, Abdulla SA, Acharya UR. Automatic autism spectrum disorder detection using artificial intelligence methods with MRI neuroimaging: A review. *Front Mol Neurosci*. 2022 Oct 4;15:999605. doi: 10.3389/fnmol.2022.999605.
- 17 Keele, S. Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering; Technical Report Ver. 2.3; EBSE: Durham, UK, 2007
- 18 Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, Moher D, Tugwell P, Welch V, Kristjansson E, Henry DA. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 2017 Sep 21;358:j4008.
- 19 Zhang S, Wang S, Liu R, Dong H, Zhang X, Tai X. A bibliometric analysis of research trends of artificial intelligence in the treatment of autistic spectrum disorders. *Front Psychiatry*. 2022 Aug 29;13:967074. doi: 10.3389/fpsy.2022.967074.
- 20 Minissi ME, Chicchi Giglioli IA, Mantovani F, Alcañiz Raya M. Assessment of the Autism Spectrum Disorder Based on Machine Learning and Social Visual Attention: A Systematic Review. *J Autism Dev Disord*. 2022 May;52(5):2187-2202. doi: 10.1007/s10803-021-05106-5. Epub 2021 Jun 8.
- 21 Cano S, González CS, Gil-Iranzo RM, Albiol-Pérez S. Affective Communication for Socially Assistive Robots (SARs) for Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2021 Jul 30;21(15):5166. doi: 10.3390/s21155166.
- 22 Alqaysi ME, Albahri AS, Hamid RA. Diagnosis-Based Hybridization of Multimodal Tests and Sociodemographic Characteristics of Autism Spectrum Disorder Using Artificial Intelligence and Machine Learning Techniques: A Systematic Review. *Int J Telemed Appl*. 2022 Jul 1;2022:3551528. doi: 10.1155/2022/3551528.
- 23 Raj S., Masood S. Analysis and detection of autism spectrum disorder using machine learning techniques. *Procedia Comput. Sci*. 2020;167:994–1004. doi: 10.1016/j.procs.2020.03.399.
- 24 Stevens E., Dixon D. R., Novack M. N., Granpeesheh D., Smith T., Linstead E. Identification and analysis of behavioral phenotypes in autism spectrum disorder via unsupervised machine learning. *International Journal of Medical Informatics* . 2019;129(August):p. 29. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.05.006
- 25 Peral J., Gil D., Rotbei S., Amador S., Guerrero M., Moradi H. A machine learning and integration based architecture for cognitive disorder detection used for early autism screening. *Electronics* . 2020;9(3) doi: 10.3390/electronics9030516.
- 26 Misman M. F., Samah A. A., Ezudin F. A., et al. Proceedings - 2019 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences . AiDAS 2019; 2019. Classification of adults with autism spectrum disorder using deep neural network; pp. 29–34
- 27 Hassan M. M., Mokhtar H. M. O. Investigating autism etiology and heterogeneity by decision tree algorithm. *Informatics Med. Unlocked* . 2019;16, article 100215 doi: 10.1016/j.imu.2019.100215.
- 28 Tyagi B., Mishra R., Bajpai N. Machine learning techniques to predict autism spectrum disorder; 1st International Conference on Data Science and Analytics, PuneCon 2018 - Proceedings ; 2018. pp. 1–5.
- 29 Lawi A., Aziz F. Proceedings - 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology: Internet of Things for Industry . EIconCIT 2018; 2018. Comparison of classification algorithms of the autism Spectrum disorder diagnosis; pp. 218–222.
- 30 Ogunleye A., Wang Q. G., Marwala T. Integrated learning via randomized forests and localized regression with application to medical diagnosis. *IEEE Access* . 2019;7:18727–18733. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893349.
- 31 Cavus N, Lawan AA, Ibrahim AI, Dahiru A, Tahir S, Abdulrazak UI, Hussaini A. A Systematic Literature Review on the Application of Machine-Learning Models in Behavioral Assessment of Autism Spectrum Disorder. *J Pers Med*. 2021 Apr 14;11(4):299. doi: 10.3390/jpm11040299.
- 32 Gautam R, Sharma M. Prevalence and Diagnosis of Neurological Disorders Using Different Deep Learning Techniques: A Meta-Analysis. *J Med Syst*. 2020 Jan 4;44(2):49. doi: 10.1007/s10916-019-1519-7.

- 33 Li, G., Liu, M., Sun, Q., Shen, D., and Wang, L., Early diagnosis of autism disease by multi-channel CNNs. In International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging, Springer, Cham, 303–309, 2018.
- 34 Guo, X., Dominick, K. C., Minai, A. A., Li, H., Erickson, C. A., and Lu, L. J., Diagnosing autism spectrum disorder from brain resting-state functional connectivity patterns using a deep neural network with a novel feature selection method. *Front Neurosci* 11(1–19):460, 2017
- 35 Kong, Y., Gao, J., Xu, Y., Pan, Y., Wang, J., and Liu, J., Classification of autism spectrum disorder by combining brain connectivity and deep neural network classifier. *Neurocomputing* 324:63–68, 2019.
- 36 Rad, N. M., and Furlanello, C., Applying deep learning to stereotypical motor movement detection in autism spectrum disorders. In 2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops IEEE, 1235–1242, 2016.
- 37 Heinsfeld, A. S., Franco, A. R., Craddock, R. C., Buchweitz, A., and Meneguzzi, F., Identification of autism spectrum disorder using deep learning and the ABIDE dataset. *NeuroImage: Clinical* 17:16–23, 2018.
- 38 Song DY, Topriceanu CC, Ilie-Ablachim DC, Kinali M, Bisdas S. Machine learning with neuroimaging data to identify autism spectrum disorder: a systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology*. 2021 Dec;63(12):2057-2072. doi: 10.1007/s00234-021-02774-z. Epub 2021 Aug 22.
- 39 Barttfeld P, Wicker B, Cukier S, Navarta S, Lew S, Sigman M (2011) A big-world network in ASD: dynamical connectivity analysis reflects a deficit in long-range connections and an excess of short-range connections. *Neuropsychologia* 49:254–263
- 40 Santana CP, de Carvalho EA, Rodrigues ID, Bastos GS, de Souza AD, de Brito LL. rs-fMRI and machine learning for ASD diagnosis: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2022 Apr 11;12(1):6030. doi: 10.1038/s41598-022-09821-6
- 41 Quak M, van de Mortel L, Thomas RM, van Wingen G. Deep learning applications for the classification of psychiatric disorders using neuroimaging data: Systematic review and meta-analysis. *Neuroimage Clin*. 2021;30:102584. doi: 10.1016/j.nicl.2021.102584
- 42 Yücelbaş Ş., Yücelbaş C. Autism spectrum disorder detection using sequential minimal optimization-support vector machine hybrid classifier according to history of jaundice and family autism in children. *Concurrency Computat Pract Exper* . 2022;34(1) doi: 10.1002/cpe.6498.
- 43 Koprowski R, Foster KR (2018) Machine learning and medicine: book review and commentary. *Biomed Eng Online* 17:17
- 44 Uddin S, Khan A, Hossain ME, Moni MA (2019) Comparing diferent supervised machine learning algorithms for disease prediction. *BMC Med Inform Decis Mak* 19:281
- 45 Tomasiello S (2020) A granular functional network classifier for brain diseases analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 8:382–388
- 46 Xiao X, Fang H, Wu J, Xiao C, Xiao T, Qian L, Liang F, Xiao Z, Chu KK, Ke X (2017) Diagnostic model generated by MRIderived brain features in toddlers with autism spectrum disorder. *Autism Res* 10:620–630

REFERENCES

- 1 American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington: American Psychiatric Publishing, 2013.
- 2 World Health Organization (2019). Autism spectrum disorders. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- 3 Fombonne E (2009) Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatr Res* 65:591–598 72. Halladay AK, Bishop S, Constantino JN, Daniels AM, Koenig K, Palmer K, Messinger D, Pelphrey K, Sanders SJ, Singer AT, Taylor JL, Szatmari P (2015) Sex and gender differences in autism spectrum disorder: summarizing evidence gaps and identifying emerging areas of priority. *Molecular autism* 6:36
- 4 Bougeard C, Picarel-Blanchot F, Schmid R, Campbell R, Buitelaar J. Prevalence of Autism Spectrum Disorder and Co-morbidities in Children and Adolescents: A Systematic Literature Review. *Front Psychiatry*. 2021 Oct 27;12:744709. doi: 10.3389/fpsy.2021.744709.
- 5 Baio J, Wiggins L, Christensen DL, Maenner MJ, Daniels J, Warren Z, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years - autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2014. *MMWR Surveill Summ*. 2018;67:1.
- 6 Qiu S, Lu Y, Li Y, Shi J, Cui H, Gu Y, et al. Prevalence of autism spectrum disorder in Asia: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Res*. 2020;284:112679.
- 7 Delobel-Ayoub M, Ehlinger V, Klapouszczak D, Maffre T, Raynaud JP, Delpierre C, et al. Socioeconomic disparities and prevalence of autism spectrum disorders and intellectual disability. *PLoS One*. 2015;10(11):e0141964.
- 8 Davidovitch M, Hemo B, Manning-Courtney P, Fombonne E. Prevalence and incidence of autism spectrum disorder in an Israeli population. *J Autism Dev Disord*. 2013;43:785–793.
- 9 Alshaban F, Aldosari M, Al-Shammari H, El-Hag S, Ghazal I, Tolefat M, et al. Prevalence and correlates of autism spectrum disorder in Qatar: a national study. *J Child Psychol Psychiatry Allied Discip*. 2019;60:1254–1268
- 10 Mohammadi MR, Ahmadi N, Khaleghi A, Zarafshan H, Mostafavi SA, Kamali K, et al. Prevalence of autism and its comorbidities and the relationship with maternal psychopathology: a national population-based Study. *Arch Iran Med*. 2019;22:546–553.
- 11 Yoo SM, Kim KN, Kang S, Kim HJ, Yun J, Lee JY. Prevalence and Premature Mortality Statistics of Autism Spectrum Disorder Among Children in Korea: A Nationwide Population-Based Birth Cohort Study. *J Korean Med Sci*. 2022 Jan 3;37(1):e1. doi: 10.3346/jkms.2022.37.e1.
- 12 Zhou H, Xu X, Yan W, Zou X, Wu L, Luo X, Li T, Huang Y, Guan H, Chen X, Mao M, Xia K, Zhang L, Li E, Ge X, Zhang L, Li C, Zhang X, Zhou Y, Ding D, Shih A, Fombonne E, Zheng Y, Han J, Sun Z, Jiang YH, Wang Y; LATENT-NHC Study Team. Prevalence of Autism Spectrum Disorder in China: A Nationwide Multi-center Population-based Study Among Children Aged 6 to 12 Years. *Neurosci Bull*. 2020 Sep;36(9):961-971. doi: 10.1007/s12264-020-00530-6. Epub 2020 Jun 30.
- 13 Smith DaWalt L, Hong J, Greenberg JS, Mailick MR. Mortality in individuals with autism spectrum disorder: Predictors over a 20-year period. *Autism*. 2019 Oct;23(7):1732-1739. doi: 10.1177/1362361319827412. Epub 2019 Feb 28.
- 14 Sharma M. Improved autistic spectrum disorder estimation using Cfs subset with greedy stepwise feature selection technique. *International Journal of Information Technology* . 2022;14(3):1251–1261. doi: 10.1007/s41870-019-00335-5
- 15 Sobieski M, Sobieska A, Sekulowicz M, Bujnowska-Fedak MM. Tools for early screening of autism spectrum disorders in primary health care - a scoping review. *BMC Prim Care*. 2022 Mar 15;23(1):46. doi: 10.1186/s12875-022-01645-7.
- 16 Moridian P, Ghassemi N, Jafari M, Salloum-Asfar S, Sadeghi D, Khodatars M, Shoeibi A, Khosravi A, Ling SH, Subasi A, Alizadehsani R, Gorriz JM, Abdulla SA, Acharya UR. Automatic autism spectrum disorder detection using artificial intelligence methods with MRI neuroimaging: A review. *Front Mol Neurosci*. 2022 Oct 4;15:999605. doi: 10.3389/fnmol.2022.999605.
- 17 Keele, S. Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering; Technical Report Ver. 2.3; EBSE: Durham, UK, 2007
- 18 Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, Moher D, Tugwell P, Welch V, Kristjansson E, Henry DA. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 2017 Sep 21;358:j4008.
- 19 Zhang S, Wang S, Liu R, Dong H, Zhang X, Tai X. A bibliometric analysis of research trends of artificial intelligence in the treatment of autistic spectrum disorders. *Front Psychiatry*. 2022 Aug 29;13:967074. doi: 10.3389/fpsy.2022.967074.
- 20 Minissi ME, Chicchi Giglioli IA, Mantovani F, Alcañiz Raya M. Assessment of the Autism Spectrum Disorder Based on Machine Learning and Social Visual Attention: A Systematic Review. *J Autism Dev Disord*. 2022 May;52(5):2187-2202. doi: 10.1007/s10803-021-05106-5. Epub 2021 Jun 8.
- 21 Cano S, González CS, Gil-Iranzo RM, Albiol-Pérez S. Affective Communication for Socially Assistive Robots (SARs) for Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2021 Jul 30;21(15):5166. doi: 10.3390/s21155166.
- 22 Alqaysi ME, Albahri AS, Hamid RA. Diagnosis-Based Hybridization of Multimodal Tests and Sociodemographic Characteristics of Autism Spectrum Disorder Using Artificial Intelligence and Machine Learning Techniques: A Systematic Review. *Int J Telemed Appl*. 2022 Jul 1;2022:3551528. doi: 10.1155/2022/3551528.
- 23 Raj S., Masood S. Analysis and detection of autism spectrum disorder using machine learning techniques. *Procedia Comput. Sci*. 2020;167:994–1004. doi: 10.1016/j.procs.2020.03.399.
- 24 Stevens E., Dixon D. R., Novack M. N., Granpeesheh D., Smith T., Linstead E. Identification and analysis of behavioral phenotypes in autism spectrum disorder via unsupervised machine learning. *International Journal of Medical Informatics* . 2019;129(August):p. 29. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.05.006

- 25 Peral J., Gil D., Rotbei S., Amador S., Guerrero M., Moradi H. A machine learning and integration based architecture for cognitive disorder detection used for early autism screening. *Electronics*. 2020;9(3) doi: 10.3390/electronics9030516.
- 26 Misman M. F., Samah A. A., Ezudin F. A., et al. Proceedings - 2019 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences. *AiDAS 2019; 2019*. Classification of adults with autism spectrum disorder using deep neural network; pp. 29–34
- 27 Hassan M. M., Mokhtar H. M. O. Investigating autism etiology and heterogeneity by decision tree algorithm. *Informatics Med. Unlocked*. 2019;16, article 100215 doi: 10.1016/j.imu.2019.100215.
- 28 Tyagi B., Mishra R., Bajpai N. Machine learning techniques to predict autism spectrum disorder; 1st International Conference on Data Science and Analytics, PuneCon 2018 - Proceedings ; 2018. pp. 1–5.
- 29 Lawi A., Aziz F. Proceedings - 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology: Internet of Things for Industry. *EIconCIT 2018; 2018*. Comparison of classification algorithms of the autism spectrum disorder diagnosis; pp. 218–222.
- 30 Ogunleye A., Wang Q. G., Marwala T. Integrated learning via randomized forests and localized regression with application to medical diagnosis. *IEEE Access*. 2019;7:18727–18733. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893349.
- 31 Cavus N., Lawan AA, Ibrahim Z, Dahiru A, Tahir S, Abdulrazak UI, Hussaini A. A Systematic Literature Review on the Application of Machine-Learning Models in Behavioral Assessment of Autism Spectrum Disorder. *J Pers Med*. 2021 Apr 14;11(4):299. doi: 10.3390/jpm11040299.
- 32 Gautam R, Sharma M. Prevalence and Diagnosis of Neurological Disorders Using Different Deep Learning Techniques: A Meta-Analysis. *J Med Syst*. 2020 Jan 4;44(2):49. doi: 10.1007/s10916-019-1519-7.
- 33 Li, G., Liu, M., Sun, Q., Shen, D., and Wang, L., Early diagnosis of autism disease by multi-channel CNNs. In *International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging*, Springer, Cham, 303–309, 2018.
- 34 Guo, X., Dominick, K. C., Minai, A. A., Li, H., Erickson, C. A., and Lu, L. J., Diagnosing autism spectrum disorder from brain resting-state functional connectivity patterns using a deep neural network with a novel feature selection method. *Front Neurosci* 11(1–19):460, 2017
- 35 Kong, Y., Gao, J., Xu, Y., Pan, Y., Wang, J., and Liu, J., Classification of autism spectrum disorder by combining brain connectivity and deep neural network classifier. *Neurocomputing* 324:63–68, 2019.
- 36 Rad, N. M., and Furlanello, C., Applying deep learning to stereotypical motor movement detection in autism spectrum disorders. In *2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops IEEE*, 1235–1242, 2016.
- 37 Heinsfeld, A. S., Franco, A. R., Craddock, R. C., Buchweitz, A., and Meneguzzi, F., Identification of autism spectrum disorder using deep learning and the ABIDE dataset. *NeuroImage: Clinical* 17:16–23, 2018.
- 38 Song DY, Topriceanu CC, Ilie-Ablachim DC, Kinali M, Bisdas S. Machine learning with neuroimaging data to identify autism spectrum disorder: a systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology*. 2021 Dec;63(12):2057-2072. doi: 10.1007/s00234-021-02774-z. Epub 2021 Aug 22.
- 39 Bartfeld P, Wicker B, Cukier S, Navarta S, Lew S, Sigman M (2011) A big-world network in ASD: dynamical connectivity analysis reflects a deficit in long-range connections and an excess of short-range connections. *Neuropsychologia* 49:254–263
- 40 Santana CP, de Carvalho EA, Rodrigues ID, Bastos GS, de Souza AD, de Brito LL. rs-fMRI and machine learning for ASD diagnosis: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2022 Apr 11;12(1):6030. doi: 10.1038/s41598-022-09821-6
- 41 Quaak M, van de Mortel L, Thomas RM, van Wingen G. Deep learning applications for the classification of psychiatric disorders using neuroimaging data: Systematic review and meta-analysis. *Neuroimage Clin*. 2021;30:102584. doi: 10.1016/j.nicl.2021.102584
- 42 Yücelbaş Ş., Yücelbaş C. Autism spectrum disorder detection using sequential minimal optimization-support vector machine hybrid classifier according to history of jaundice and family autism in children. *Concurrency Computat Pract Exper*. 2022;34(1) doi: 10.1002/cpe.6498.
- 43 Koprowski R, Foster KR (2018) Machine learning and medicine: book review and commentary. *Biomed Eng Online* 17:17
- 44 Uddin S, Khan A, Hossain ME, Moni MA (2019) Comparing diferent supervised machine learning algorithms for disease prediction. *BMC Med Inform Decis Mak* 19:281
- 45 Tomasiello S (2020) A granular functional network classifier for brain diseases analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 8:382–388
- 46 Xiao X, Fang H, Wu J, Xiao C, Xiao T, Qian L, Liang F, Xiao Z, Chu KK, Ke X (2017) Diagnostic model generated by MRIderived brain features in toddlers with autism spectrum disorder. *Autism Res* 10:620–630

Вклад авторов. Все авторы принимали равносильное участие при написании данной статьи.

Конфликт интересов – не заявлен.

Данный материал не был заявлен ранее, для публикации в других изданиях и не находится на рассмотрении другими издательствами. При проведении данной работы не было финансирования сторонними организациями и медицинскими представительствами. Финансирование - Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта: BR18574199 «Интеграция детей с расстройством аутистического спектра в социально-образовательную среду на основе всесторонней поддержки: вызовы и преимущества».

Авторлардың үлесі. Барлық авторлар осы мақаланы жазуға тең дәрежеде қатысты.

Мүдделер қақтығысы – мәлімделген жоқ.

Бұл материал басқа басылымдарда жариялау үшін бұрын мәлімделмеген және басқа басылымдардың қарауына ұсынылмаған. Осы жұмысты жүргізу кезінде сыртқы ұйымдар мен медициналық өкілдіктердің қаржыландыруы жасалған жоқ. Қаржыландыру – Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті: BR18574199 «Аутизм спектрі бұзылған балаларды кешенді қолдау негізінде әлеуметтік және білім беру ортаға интеграциялау: қиындықтар мен артықшылықтар».

Authors' Contributions. All authors participated equally in the writing of this article.

No conflicts of interest have been declared.

This material has not been previously submitted for publication in other publications and is not under consideration by other publishers. There was no third-party funding or medical representation in the conduct of this work. Funding - This study is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the project: BR18574199 "Integration of children with autism spectrum disorder into the social and educational environment based on comprehensive support: challenges and benefits".

Сведения об авторах

Кошербаева Ляззат Кошербайқызы, <https://orcid.org/0000-0001-8376-4345>, PhD, заведующая кафедрой политики и менеджмента здравоохранения НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова», г. Алматы, Республика Казахстан.

Айжан Самамбаева, <http://orcid.org/0000-0001-8600-7980>, руководитель департамента инноваций исследовательского центра AYesoconomics Research Centre S.L., Сантьяго де Компостелла, Испания.

Сабырділда Жанар Сабырділдақызы, <https://orcid.org/0000-0002-2981-4580>, магистр медицины, преподаватель кафедры «Политика и менеджмент здравоохранения, НАО «КазНМУ им.С.Д.Асфендиярова», г. Алматы, Республика Казахстан.

Кожажельдиева Лаура, <http://orcid.org/0000-0003-0553-8988>, MSc, научный сотрудник Университета Сулеймана Демиреля.