

КАЗАРИНОВА В.Е.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0009-0001-3568-8138

ЗИНЧЕНКО В.В.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: ZinchenkoV1@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-2307-725X

КОВАЛЬЧУК А.Ю.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: KovalchukAY2@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0009-0006-7975-8974

АХМАД Е.С.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: AkhmadES@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-8235-9361

ПАМОВА А.П.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: PamovaAP@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-0041-3281

АРЗАМАСОВ К.М.,

д.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0001-7786-0349

ОМЕЛЯНСКАЯ О.В.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-0245-4431

ВЛАДЗИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-2990-7736

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ SPINA BIFIDA У ПЛОДА, ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ

DOI: 10.25881/18110193_2026_1_6

Аннотация. Актуальность и цель: Spina Bifida (SB) — это врожденный порок развития позвоночника, требующий своевременной диагностики. Цифровизация здравоохранения и стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) способствуют внедрению ИИ в различные области медицины, включая диагностику SB. Целью данного исследования является анализ потенциала применения ИИ для выявления признаков SB у плода, детей и взрослых, оценка существующих подходов, а также определение ключевых областей для дальнейших исследований и разработок.

Методы: в представленную обзорную работу включены оригинальные и обзорные публикации, материалы конференций с описанием применения алгоритмов ИИ к любым видам данных на любом из этапов исследования SB у плода, детей и взрослых. Поиск доступной литературы был произведен в базах данных: PubMed, Google Scholar и РИНЦ (eLibrary.ru).

Результаты: было отобрано 17 публикаций о применении ИИ в диагностике SB, удовлетворяющих критериям поиска. Выделены следующие виды данных, которые анализируются с использованием алгоритмов ИИ: данные медицинской визуализации (магнитно-резонансной томографии, ультразвукового исследования, рентгенографии, видеоуродинамики), данные лабораторной диагностики, генетическая информация.

Обсуждение: алгоритмы ИИ показали высокую эффективность в выявлении SB и ее осложнений на различных этапах диагностического процесса. Была продемонстрирована перспектива использования компьютерного зрения для выявления SB на изображениях различной модальности, алгоритмов машинного обучения в лабораторной диагностике и в генетических исследованиях.

Ключевые слова: Spina Bifida, диагностика, искусственный интеллект, машинное обучение.

Для цитирования: Казаринова В.Е., Зинченко В.В., Ковальчук А.Ю., Ахмад Е.С., Памова А.П., Арзамасов К.М., Омелянская О.В., Владимирский А.В. Перспективы применения искусственного интеллекта для выявления Spina Bifida у плода, детей и взрослых. Врач и информационные технологии. 2026; 1: 6-21. DOI: 10.25881/18110193_2026_1_6.

KAZARINOVA V.E.,

Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0009-0001-3568-8138

ZINCHENKO V.V.,

Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: ZinchenkoVV1@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-2307-725X

KOVALCHUK A.Y.,

Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: KovalchukAY2@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0009-0006-7975-8974

AKHMAD E.S.,

Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: AkhmadES@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-8235-9361

PAMOVA A.P.,

PhD, Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: PamovaAP@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-0041-3281

ARZAMASOV K.M.,

DSc, Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0001-7786-0349

OMELYANSKAYA O.V.,

Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-0245-4431

VLADZYMYRSKYI A.V.,

DSc, Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia; e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru;
ORCID ID: 0000-0002-2990-7736

PROSPECTS FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETECT SPINA BIFIDA IN FETUSES, CHILDREN, AND ADULTS

DOI: 10.25881/18110193_2026_1_6

Abstract. *Background and Objective:* Spina Bifida (SB) is a congenital spinal malformation requiring timely diagnosis. Digitalization of healthcare and rapid development of artificial intelligence technologies (AI) facilitate AI implementation in various fields of medicine, including SB diagnosis. The aim of this study is to analyze the potential of AI for detecting signs of Spina Bifida in fetuses, children, and adults, evaluate existing approaches, and identify key areas for further research and development.

Methods: this review includes original and review publications, conference materials describing the application of AI algorithms to any type of data at any stage of the diagnostic process of SB in fetuses, children, and adults. A search of available literature was conducted in the following databases: PubMed, Google Scholar, and the Russian Science Citation Index (eLibrary.ru).

Results: seventeen publications on the use of AI in the diagnosis of SB were selected, which met the search criteria. Using AI algorithms, the following types of data were identified and analyzed: medical imaging data (magnetic resonance imaging, ultrasound, X-ray, video urodynamics), laboratory diagnostics data, and genetic information.

Discussion: AI algorithms have shown high efficiency in detecting SB and its complications at various stages of the diagnostic process. The prospect of using computer vision to detect SB in images of various modalities as well as machine learning algorithms in laboratory diagnostics and genetic research was demonstrated.

Keywords: Spina Bifida; Diagnosis; Artificial Intelligence; Machine Learning.

For citation: Kazarinova V.E., Zinchenko V.V., Kovalchuk A.Y., Akhmad E.S., Pamova A.P., Arzamasov K.M., Omelyanskaya O.V., Vladzimirskyy A.V. Prospects for using artificial intelligence to detect Spina Bifida in fetuses, children, and adults. *Medical doctor and information technology.* 2026; 1: 6-21. DOI: 10.25881/18110193_2026_1_6.

ВВЕДЕНИЕ

Spina Bifida (SB) — это врожденный порок развития, относящийся к спинальному дизрафизму, при котором отмечается дефект развития позвоночника в результате нарушения закрытия эмбриональной нервной трубки [1]. Данный порок может проявляться в двух формах: Spina Bifida Occulta (SBO) — скрытая форма, представляет собой небольшие костные дефекты без формирования спинномозговой грыжи; и Spina Bifida Aperta (SBA) — открытая форма, представляет собой более серьезное состояние, при котором через имеющийся дефект позвоночника наблюдается пролабирование содержимого спинномозгового канала [2, 3].

Этиология возникновения SB в процессе эмбрионального развития до конца не известна. Несмотря на значительное снижение распространенности SB в странах с обязательным обогащением зерновых фолиевой кислотой до 0,2–0,4 случаев на 1000 рождений, в некоторых регионах мира заболеваемость остается высокой, достигая 4–8 случаев на 1000 рождений [4].

Врожденные аномалии позвоночника представляют собой серьезную проблему, требующую мультидисциплинарного подхода как в диагностике, так и в лечении [5]. Пренатальная диагностика SB играет ключевую роль в обеспечении своевременного и эффективного медицинского вмешательства [6] и включает два основных метода: пренатальное биохимическое обследование (анализ уровня альфа-фетопротеина и ацетилхолинэстеразы) и пренатальное ультразвуковое обследование (УЗИ). Точность УЗИ зависит от опыта врача и положения плода [7, 8]. С развитием нейронных сетей было предложено множество алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для выделения признаков различных патологий плода на ультразвуковых изображениях, но в обработке ультразвуковых изображений плода с SB все еще существует пробел [9].

Диагностика SB у взрослых также является актуальной проблемой по причине того, что некоторые осложнения могут проявиться только во взрослом возрасте, и ранняя диагностика позволяет своевременно принять меры для их предотвращения [10]. В большей степени это касается SBO, основным методом первичной диагностики которой является рентгенография

(РГ) с последующим подтверждением диагноза с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) или компьютерной томографии (КТ).

Пороки развития спинного мозга часто сочетаются с нарушениями формирования органов малого таза, деформациями конечностей, а также аномалиями развития центральной нервной системы [11]. Важный этап обследования пациентов со SB — это выявление сопутствующих патологий и осложнений.

Таким образом, целью данного исследования является анализ потенциала применения ИИ для диагностики SB у плода, детей и взрослых, обзор существующих подходов, а также определение ключевых областей для дальнейших исследований и разработок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения/исключения исследований

Критерии включения:

В исследование включались оригинальные и обзорные статьи, материалы конференций, опубликованные на английском или русском языках, которые описывают использование алгоритмов машинного обучения к любым видам данных на любом из этапов диагностики SB у плода, детей и взрослых. Были включены работы, опубликованные не более 5 лет назад и находящиеся в открытом доступе либо имеющие подробное описание технологии ИИ в резюме статьи.

Критерии исключения:

Из данного обзорного исследования были исключены публикации, не соответствующие теме применения технологий ИИ в диагностике SB у плода, детей и взрослых, а также находящиеся в закрытом доступе и не имеющие подробного описания технологии в аннотации.

Ключевые слова для поиска

Для поиска литературы согласно вопросу исследования были использованы ключевые слова, указанные в таблице 1.

Анализ литературы

Поиск литературы был произведен по базам данных PubMed, Google Scholar и РИНЦ (eLibrary.ru). Найденные публикации были

Таблица 1 – Ключевые слова для поиска литературы

№	База данных	Строка поиска
1	PubMed	((spina bifida[Title/Abstract] OR meningocele[Title/Abstract] OR lipomenigocele[Title/Abstract] OR myelomenigocele[Title/Abstract])) OR (Spina Bifida Occulta[MeSH Terms])
2		"Artificial Intelligence"[Title/Abstract] OR "Machine Learning"[Title/Abstract] OR "Deep Learning"[Title/Abstract] OR "Neural Network"[Title/Abstract] OR "Computer Assisted Diagnosis"[Title/Abstract] OR "Medical Informatics"[Title/Abstract] OR "RNN"[Title/Abstract] OR "CNN"[Title/Abstract] OR "Random Forest"[Title/Abstract] OR "SVM"[Title/Abstract] OR "Support vector machine"[Title/Abstract] OR AI[Title/Abstract] OR Algorithms[MeSH Terms]
3		#1 AND #2
4	Google Scholar	(spina bifida OR meningocele OR lipomenigocele OR myelomenigocele) AND («Artificial Intelligence» OR «Machine Learning» OR «Deep Learning» OR «Neural Network» OR «Computer Assisted Diagnosis» OR «Medical Informatics» OR «RNN» OR «Random Forest» OR «SVM» OR «Support vector machine» OR AI)
5	РИНЦ	spina bifida И («машинное обучение» ИЛИ «искусственный интеллект»)

объединены в одну базу, удалены дубликаты. Далее был проведен скрининг работ по информации из названия публикации и краткого абстракта на предмет решения о включении/исключении публикации из дальнейшего рассмотрения. Были выделены следующие группы научных работ: основные работы, содержащие оригинальное исследование применения любых алгоритмов машинного обучения в области диагностики СВ и сопутствующих патологий у плода, детей и взрослых; дополнительные — публикации, включающие описание данных, используемых в решении описываемой проблемы, однако напрямую не связанные с

применением ИИ. Основные включенные публикации были сгруппированы и проанализированы в виде таблицы со следующими столбцами: ссылка, вид данных, вид алгоритма, задача ИИ, метрики, направления дальнейшего исследования. Отдельно были проанализированы дополнительные материалы для выявления перспектив применения ИИ в области диагностики и лечения СВ у пациентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В базе данных PubMed по ключевым словам было найдено 28 публикаций, в Google Scholar — 46, в РИНЦ — 0. На рисунке 1



Рисунок 1 – Схема сбора исследований.

представлена схема отбора исследований. После исключения нерелевантных литературных источников суммарно анализ был произведен по 34 публикациям, которые были разделены на 2 группы: 17 исследований из основной группы и 17 исследований из дополнительной группы.

Исследования из основной группы были проанализированы в таблице 2. Работы были сгруппированы по данным, которые используются в решении задач ИИ, а именно по данным медицинской визуализации (МРТ, УЗИ, РГ,

видеоуродинамика), данным лабораторной диагностики, генетической информации. Публикациям с одними и теми же авторами, Mufti N. и др. и Cengizler C. и др., было дано одно описание, т.к. предположительно опубликованные работы освещают одну группу исследований, и рассмотрение данных работ по отдельности не даст дополнительного вклада в достижение заявленной цели исследования.

Дополнительная группа исследований была проанализирована в таблице 3.

Таблица 2 – Анализ статей, включенных в основную группу исследований

Ссылка	Вид данных	Вид алгоритма	Задача ИИ	Метрики	Направления дальнейшего исследования
Mufti et al. [12, 13]	МРТ-изображения	Нейронная сеть	Сегментировать структуры головного мозга плода для анализа морфологических изменений, возникающих в результате пренатальной операции по закрытию SB	–	Тестирование моделей более высокого порядка, увеличение набора данных
Ebner et al. [14]	МРТ-изображения	Нейронная сеть	Выполнить реконструкцию головного мозга плода	Коэффициент Дайса 0,939	Исследование эффективности разработки на других МРТ-сканерах
Trigui et al. [15]	МРТ-изображения	Метод опорных векторов, алгоритм случайного леса	Сегментировать и классифицировать стенки мочевого пузыря	Коэффициент Дайса 0,826, точность 94,4%, чувствительность 94,74%, специфичность 94,12%, прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) 94,74%	Увеличение набора данных, исследование новых 3D-текстурных признаков
Cengizler et al. [16, 17]	УЗИ	Генетические алгоритмы	Локализовать позвоночный столб плода, объединить костные области в группы	F-мера до 1,000 на отдельных примерах	Увеличение набора данных, оптимизация параметров функции, усовершенствование этапа сегментации алгоритма
Asha et al. [18, 19]	УЗИ	Нейронная сеть	Выявить наличие или отсутствие SB у плода	Точность обнаружения 97,8%, точность сегментации 96% по пикселям, точность классификации 96,5%	Увеличение набора данных, внешняя валидация разработки
Henry O.A. et al. [20]	УЗИ	Нейронная сеть	Диагностировать SB плода	DBN: ПЦПР 97%, точность 97%, F1-мера 98%, чувствительность 99%. U-Net: ПЦПР 93%, точность 91%, F1-мера 95%, чувствительность 96%. ResNet: ПЦПР 96%, точность 94%, F1-мера 96%, чувствительность 96%.	Внешняя валидация разработки
Chen et al. [21]	УЗИ	Нейронная сеть	Диагностировать SB плода	Чувствительность 0,93, ПЦПР 0,96, точность по пикселям 0,949, среднее пересечение по объединению 0,917	Увеличение набора данных, внешняя валидация
Duran et al. [22]	РГ пояснично-крестцового отдела позвоночника	Нейронная сеть	Диагностировать SBO	Точность 85,5%, чувствительность 80,8%, специфичность 89,7%, ПЦПР 87,5%, F1-мера 84%, площадь под ROC-кривой (AUC ROC) 0,92.	Увеличение набора данных, внешняя валидация

**Таблица 2 – Анализ статей, включенных в основную группу исследований
(продолжение)**

Ссылка	Вид данных	Вид алгоритма	Задача ИИ	Метрики	Направления дальнейшего исследования
Weaver J.K. et al. [23]	Данные уродинамических и РГ исследований	Алгоритм случайного леса, нейронная сеть	Классифицировать степень тяжести дисфункции мочевого пузыря	Точность 70%, взвешенная каппа 0,54 (умеренное согласие)	Внешняя валидация алгоритма
Hobbs et al. [24]	Данные уродинамических исследований	Метод опорных векторов, метод k-ближайших соседей	Выявить признаки гиперактивности детрузора	Временная модель с тремя каналами: AUC ROC 91,9 ± 1,3%; чувствительность 84,2 ± 3,8%; специфичность 86,4 ± 1,3%. Трехканальная модель на основе частоты: AUC ROC 90,5 ± 1,9%; чувствительность 68,3 ± 5,3%; специфичность 92,9 ± 1,1%	Использование большего количества параметров в алгоритме, внешняя валидация
Fazelinia et al. [25]	Образцы мочи	Алгоритмы машинного обучения	Дифференцировать пациентов со SB с высоким риском развития почечных осложнений, связанных с нейрогенным мочевым пузырем	–	Увеличение набора данных, внешняя валидация
Karthik et al. [26]	Генетическая информация	Логистическая регрессия, дерево решений, метод опорных векторов, случайный лес, метод k-ближайших соседей	Выявить ключевые гены, связанные со SB	Логистическая регрессия: точность 0,8667, AUC ROC 0,90. Метод k-ближайших соседей: точность 0,80, AUC ROC 0,95.	Дальнейшие исследования генома человека
Takeda [27]	Генетическая информация	Алгоритм случайного леса	Прогнозировать патогенность несинонимичных однонуклеотидных вариантов (nsSNV)	AUC ROC 0,941, AUC PR (precision-recall curve) 0,957, чувствительность 0,942, специфичность 0,848	Увеличение количества исследуемых nsSNV
Wolujewicz et al. [28]	Генетическая информация	Нейронная сеть	Определить геномные регуляторные сигнатуры, лежащие в основе патофизиологии SB	–	Дальнейшие исследования генома человека

Таблица 3 – Анализ работ из дополнительной группы исследований

Ссылка	Перспективы возможного применения ИИ
McKernan et al. [29]	Выявление особенностей, которые влияют на вариативность базовых навыков передвижения в инвалидной коляске и изменения в навыках передвижения с течением времени у пациентов с SB
Punchak et al. [30]	Прогнозирование развития синдрома фиксированного спинного мозга после первичного хирургического вмешательства
Chao et al. [31]	Пренатальная дифференциальная диагностика патологий позвоночника по данным УЗИ, МРТ, КТ
Benjamin et al. [32]	Поиск взаимосвязи между врожденными дефектами по данным реестров
Pollenus et al. [33]	Предсказание влияния аномалий головного мозга на когнитивные способности пациентов с SB
Hebert et al. [34]	Генетический анализ и выявление паттернов для предсказания развития SB
Aguiar-Pulido et al. [35]	Анализ генома человека для поиска ключевых механизмов, повышающих риск возникновения SB
Beltran Ale et al. [36], Gunnett et al. [37]	Предсказание развития нарушения дыхания во сне у пациентов с SB

Таблица 3 – Анализ работ из дополнительной группы исследований (продолжение)

Ссылка	Перспективы возможного применения ИИ
Rethlefsen et al. [38]	Предсказание ежедневной двигательной активности (ходьбы) пациентов с SB в зависимости от нейросегментарного и функционального уровней поражения
Pruthi et al. [39], Sanz Cortes et al. [40]	Предсказание исхода пренатальной операции при SB у плода
McLaughlin et al. [41]	Маршрутизация пациентов и отслеживание в медицинской информационной системе
Weaver et al. [42]	Прогнозирование ухудшения функции почек с помощью уродинамического исследования
Uy et al. [43]	Изучение генетической основы возникновения SB
Trigo et al. [44]	Прогнозирование изменений аномалий центральной нервной системы после пренатального хирургического вмешательства по закрытию SB на основе анализа МРТ-изображений
Zoghi et al. [45]	Прогнозирование исхода хирургического лечения SB

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ В МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ SB

1. МРТ

МРТ играет ключевую роль в постановке диагноза SB как у плода, так и у взрослых и детей, а также позволяет выявить сопутствующие патологии головного мозга (ГМ) — мальформацию Киари II, гидроцефалию и другие. По этой причине МРТ-изображения широко используются в разработках программного обеспечения (ПО) на основе технологий ИИ для выявления SB и сопутствующих заболеваний.

В работах [12–13] авторы использовали МРТ-изображения ГМ плода до и после пренатальной операции по закрытию SBA. Определялись объем и площадь поверхности ГМ, мозжечка и желудочков, а также оценивалась гирификация (степень извилистости) коры. Для автоматической первичной сегментации структур ГМ был использован метод глубокого обучения на основе свёрточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN). Авторы подчеркивают, что улучшение понимания траектории развития ГМ после пренатальной операции по закрытию SBA является важным аспектом для составления плана лечения пациентов.

В исследовании [14] рассмотрена проблема движения плода во время проведения МРТ, что приводит к смещению на изображении анатомических структур между срезами и невозможности качественной диагностики SBA и

ее осложнений. Авторы предлагают решение — автоматическую систему реконструкции мозга плода и автоматическую коррекцию артефактов движения. В представленном алгоритме для реконструкции ГМ плода на МРТ-изображениях используется локализация и сегментация ГМ моделями на основе глубокого обучения (каскадные CNN с 3D U-Net, ResNet и т.д.). Результаты реконструкции, полученные с помощью использованных нейросетей, выгодно отличаются от результатов, полученных при ручной, трудоёмкой сегментации мозга. В дальнейшем авторы планируют исследовать применимость сочетания этих алгоритмов на еще более широком диапазоне параметров МРТ-изображений в зависимости от периода гестации.

В исследовании [15] внимание было сконцентрировано на одном из самых частых осложнений SB у взрослых пациентов — нейрогенной дисфункции мочевого пузыря. Была разработана автоматизированная система компьютерной диагностики: сегментация и классификация стенок мочевого пузыря у взрослых и детей с SB на T2-взвешенных МРТ-изображениях. В работе использовались метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) и алгоритм случайного леса (Random Forest, RF). Обнаружено, что применительно к этой задаче SVM превосходит классификатор RF при использовании алгоритма оптимизации Grey Wolf Optimizer и ядра радиальной базисной функции. Точность классификации составила 94,4%, чувствительность

94,74%, специфичность 94,12%. Планируется тестирование разработки на большем наборе данных, а также доработка предложенной системы диагностики.

2. УЗИ

Следующей областью медицинской визуализации, где активно ведутся разработки для диагностики SBA с применением ИИ, является УЗИ.

Публикации [16-17] посвящены автоматизированному поиску костей позвоночника плода при УЗИ. В работах ультразвуковое изображение автоматически делится на столбцы и определяются области костей, относящиеся к позвоночнику. Авторы предполагают, что разработанный метод, способный отличать кости позвоночника от других даже при наличии серьезных морфологических дефектов, является первым шагом на пути к созданию диагностической модели.

Asha R., Subashka Ramesh S.S. в исследованиях [18-19] предлагают модели на основе глубокого обучения для сегментации и классификации SB плода на ультразвуковых изображениях. В работе [18] модифицированная сверточная нейронная сеть Faster Region (Modified FRCNN-CO) применялась для классификации изображений с наличием и отсутствием SB у плода. В качестве исходных данных использовались 242 ультразвуковых изображения позвоночника плода, полученных на 18-й неделе гестации. Точность обнаружения составила 97,8%. В работе [19] две модели глубокого обучения (DED и FMDDCN) были усовершенствованы для сегментации и классификации УЗ-изображений позвоночника плода на нормальные и патологические. Участницами этого исследования стали 300 женщин, которым на 23-31 неделе гестации было проведено 3D-УЗИ. Точность сегментации составила 96% по пикселям, а точность классификации 96,5%. Разработанный метод показал перспективность применения в медицинской практике для диагностики SB плода на трехмерных ультразвуковых изображениях. В дальнейших исследованиях авторы планируют тестирование модели на большем количестве пациентов.

В другом исследовании [20] для классификации УЗИ плода с наличием и с отсутствием SB применялись нейронные сети DBN, U-Net и ResNet. В работе для обучения и тестирования модели было получено около 6100

ультразвуковых изображений плода, из которых 80% имели патологию и 20% нет. Точность моделей составила 97%, 91% и 94% для DBN, U-Net и ResNet, соответственно.

Для того чтобы лучше идентифицировать изображения плода со SB в исследовании [21] была усовершенствована нейросеть U-Net — внедрена свертка Octave, в результате чего была получена новая нейросеть Oct-U-Net. Точность алгоритма составила 96%. В результате сравнительного анализа времени работы трех алгоритмов было установлено, что среднее время работы Oct-U-Net составило 12,15 секунды, что меньше, чем у FCN (fully convolutional network) и U-Net ($p < 0,05$). Таким образом, по мнению авторов Oct-U-Net может эффективно сократить время и повысить точность сегментации.

3. Рентгенограммы

В исследовании [22] представлена разработка, основанная на использовании рентгенологических исследований, которая поможет врачам в выявлении SBO. Для обнаружения объектов использовалась нейронная сеть YOLO, для классификации объектов применялся метод трансферного обучения с использованием предварительно обученных сетей VGG-19, ResNet-101, MobileNetV2 и GoogleNet. Исследование проводилось на РГ пояснично-крестцового отдела позвоночника в передне-задней проекции 160 пациентов с SBO (14 женщин, 146 мужчин) со средним возрастом 23,2 года и 206 здоровых людей (13 женщин, 193 мужчины) со средним возрастом 22,6 года. Предварительно обученная модель VGG-19 показала лучшие метрики: точность 85,5%, чувствительность 80,8%, специфичность 89,7%, ПЦПР 87,5%, F1-мера 84% и AUC ROC 0,92. Модель, пригодная для клинического использования, может быть разработана в дальнейших исследованиях с большим количеством рентгенограмм.

4. Видеоуродинамика

Как уже говорилось выше, одним из осложнений SB, с которым сталкиваются пациенты, является нейрогенная дисфункция мочевого пузыря. Поэтому в уродинамических исследованиях, являющихся золотым стандартом диагностики в функциональной урологии, также ведутся

разработки по применению ИИ. Цель изученной работы [23] состояла в разработке моделей глубокого обучения для категоризации тяжести дисфункции мочевого пузыря (отсутствующая/легкая, умеренная и тяжелая) по видеоуродинамическим и рентгенологическим исследованиям. Для обучения модели использовались данные пациентов в возрасте от 2 месяцев до 28 лет с SB. Были построены 4 модели для прогнозирования тяжести дисфункции мочевого пузыря. Точность и взвешенная каппа ансамблевой модели классификации дисфункции мочевого пузыря при достижении не менее 75% ожидаемой емкости мочевого пузыря составили 70% и 0,54 (умеренное согласие), соответственно.

В работе [24] авторы поставили целью оценить точность различных моделей машинного обучения при выявлении признаков гиперактивного мочевого пузыря. Данные были извлечены из 805 файлов видеоуродинамических исследований, полученных от 546 пациентов. Были изучены различные подходы к классификации, в том числе метод k-ближайших соседей и SVM с линейными, полиномиальными и радиально-базисными ядрами. Использование нескольких каналов и окон данных повысило производительность. Временная модель со всеми тремя каналами имела AUC ROC $91,9 \pm 1,3\%$; чувствительность $84,2 \pm 3,8\%$; специфичность $86,4 \pm 1,3\%$. Трехканальная модель на основе частоты имела AUC ROC $90,5 \pm 1,9\%$; чувствительность $68,3 \pm 5,3\%$; специфичность $92,9 \pm 1,1\%$.

ВОЗМОЖНОСТИ ПО НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИИ В ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С SB

Изучение такого осложнения, как нейрогенный мочевой пузырь, привело к идее применения ИИ в лабораторной диагностике для пациентов с SB. В небольшом пилотном исследовании [25] использовались современные протеомные подходы на основе масс-спектрометрии для выявления пептидов или белков в моче (связанных с фиброзом, воспалением и дисфункцией детрузора), которые могут дифференцировать пациентов с SB с высоким риском развития почечных осложнений, связанных с нейрогенным мочевым пузырем. С помощью методов машинного обучения были отобраны пять пептидов, которые продемонстрировали наибольшие различия между

двумя клиническими категориями (норма и патология), и на их основе был создан классификатор. Классификатор был успешно протестирован путем слепого исследования еще шести образцов мочи. Эти результаты свидетельствуют о том, что скрининг-тест мочи на основе пептидов может проводиться на регулярной основе для стратификации низкого и высокого риска развития почечных осложнений у пациентов с SB.

РОЛЬ ИИ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ У ПАЦИЕНТОВ С SB

Технологиям ИИ нашлось применение не только в клинической практике для диагностики SB у пациентов, но и в генетических исследованиях по поиску причин возникновения и патофизиологии данного порока.

В исследовании [26] представлен анализ дифференциальной экспрессии генов с рекурсивным исключением признаков — подходом машинного обучения, который позволил выявить ключевые гены, связанные с SB.

В работе [27] представлена модель Individual Meta Random Forest (InMeRF) на основе алгоритма «случайный лес» для прогнозирования патогенности несинонимичных однонуклеотидных вариантов по всему геному человека. Авторы применили InMeRF к nsSNV в генах, вызывающих врожденные миастенические синдромы, а также в гене VANG1, который связан с возникновением SB. Чувствительность и специфичность InMeRF имели значения, равные 0,942 и 0,848, соответственно.

Целью работы [28] было определить геномные регуляторные сигнатуры, лежащие в основе патофизиологии SB. Данные состояли из 298 образцов ДНК пациентов (149 здоровых и 149 с SB). Для решения задачи исследования авторы применяли алгоритмы на основе глубокого обучения. В результате были выявлены редкие однонуклеотидные полиморфизмы в специфических сайтах связывания транскрипционных факторов, которые отличают случаи SB от контрольной группы, а также были проанализированы функциональные пути задействованных генов. Авторы исследования считают, что объединение вычислительных и функциональных анализов повысит точность персонализированного подхода к генетическому консультированию в отношении риска развития SB.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдается растущий интерес исследователей к применению алгоритмов ИИ в диагностике СВ (рисунок 2). Приведенный обзор литературы продемонстрировал многообразие направлений для разработок и достижения существующих решений.

Диагностика СВ представляет важную клиническую задачу, поскольку пренатальное выявление SBA дает возможность раннему началу лечения, в том числе оперативному вмешательству [5]. Но не стоит упускать из внимания и взрослых пациентов, которые сталкиваются с впервые выявленной SBO [46] или с осложнениями этой патологии [47]. Правильный и своевременный поставленный диагноз позволяет сформировать группы диспансерного наблюдения и этапы маршрутизации пациентов.

Проанализированные публикации освещают разработки, использующие различные типы данных для обнаружения СВ и сопутствующих патологий на разных этапах диагностического процесса. Приведенные результаты исследований подтверждают перспективность внедрения компьютерных технологий для повышения точности диагностики. Тем не менее прежде чем начать внедрение ИИ в практику нужно решить ряд критических вопросов. Большинство существующих исследований ограничены по масштабам, охватывают небольшое количество случаев и проводятся в отдельных научных или медицинских центрах без внешней валидации. Чтобы тщательно изучить безопасность и эффективность применения ПО на основе технологий ИИ в диагностике СВ, необходимы

многоцентровые исследования с большим количеством участников, а также с соблюдением методологии проведения и репортирования результатов исследований [48–51].

Следует обратить внимание, что большинство разработок ПО на основе технологий ИИ посвящено диагностике SBA. Это объясняется несколькими факторами: во-первых, SBA особенно требует своевременной диагностики, так как именно эта форма заболевания несет риск тяжелых неврологических нарушений и требует хирургического вмешательства [5]. Во-вторых, данная форма патологии характеризуется наиболее выраженными морфологическими изменениями, что упрощает разработку алгоритмов машинного обучения для их выявления. В-третьих, открытая форма расщепления позвоночника чаще всего диагностируется на ранних сроках беременности при ультразвуковом обследовании, что предоставляет исследователям достаточно данных для обучения и тестирования нейронных сетей.

Также стоит отметить, что в современной диагностике СВ особое внимание уделяется МРТ и УЗИ, что обусловлено их высокой информативностью для постановки диагноза. Однако РГ, несмотря на более низкую разрешающую способность по сравнению с МРТ и УЗИ, сохраняет свою диагностическую ценность как метод первичной оценки состояния позвоночника. Рентгенограммы могут послужить основанием для подозрения на наличие скрытой патологии, SBO, например, у ребенка с урологическими жалобами или взрослого человека с болями в спине, что позволит своевременно направить

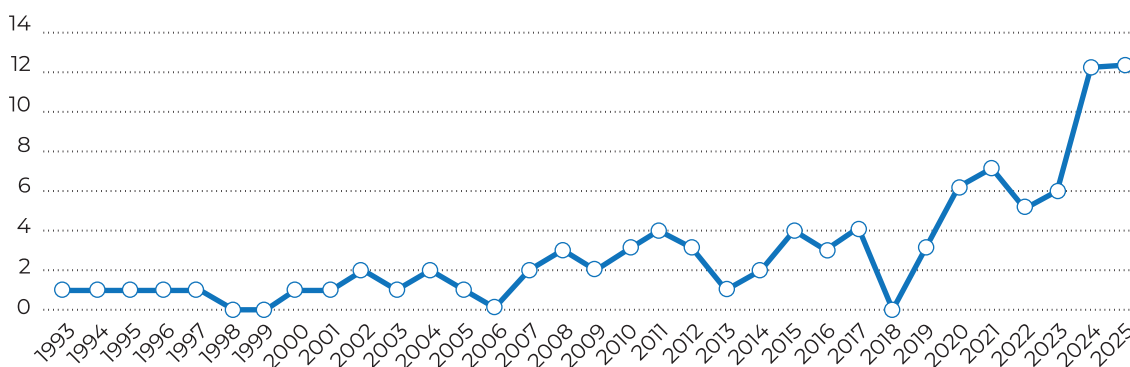


Рисунок 2 – Количество публикаций по теме в базе данных PubMed.

пациента на более детальное обследование [52]. Поэтому исключать РГ из арсенала диагностических инструментов при выявлении SB не стоит. Учитывая, что эта патология редкая и морфологические изменения при SBO менее выраженные по сравнению с SBA, технологии компьютерного зрения могут оказать поддержку принятия врачебного решения.

Из осложнений SB особое внимание в разработке алгоритмов ИИ уделяется проблеме нейрогенного мочевого пузыря. Проанализированные исследования демонстрируют многогранность подходов к решению этой проблемы. С одной стороны, алгоритмы машинного обучения успешно применяются для анализа данных уродинамических исследований и МРТ-изображений мочевого пузыря, что позволяет выявлять ранние признаки нейрогенных изменений. С другой стороны, разработки в области лабораторной диагностики направлены на создание ИИ-систем для анализа биохимических маркеров и клинических показателей функции мочевого пузыря. Такой комплексный подход к диагностике обусловлен необходимостью своевременного выявления нарушений функции мочевого пузыря у пациентов с SB, что позволит предотвратить развитие тяжелых урологических осложнений и сохранить качество жизни пациентов.

Также продолжают активные исследования генетических факторов, оказывающих влияние на возникновение SB. Хотя профилактическая эффективность фолиевой кислоты подтверждена исследованиями и нашла практическое применение в виде обязательного обогащения пищевых продуктов [53], генетические

исследования раскрывают новые аспекты механизмов развития этого порока.

Таким образом, перспективными направлениями, выявленными в ходе анализа публикаций, являются: проведение масштабных многоцентровых исследований для оценки эффективности и безопасности применения существующих решений, улучшение алгоритмов ИИ в МРТ и УЗИ для ранней диагностики SB, а также разработка ПО на основе ИИ для выявления SBO по данным РГ, создание прогностических моделей развития осложнений SB и исхода операций, расширение базы данных геномных исследований для более точного прогнозирования рисков развития SB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе были рассмотрены оригинальные и обзорные работы, посвященные текущему состоянию применения ИИ для пациентов с SB, а также перспективам развития данной области. Были выявлены области развития ИИ для целей разработки персонализированных подходов диагностики и поддержки пациентов с данным заболеванием, которые позволят повысить качество их жизни.

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Программные решения на основе технологий искусственного интеллекта для практического здравоохранения».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Морозов С.Л., Полякова О.В., Яновская Н.В. и др. Spina Bifida. Современные подходы и возможности к диагностике, лечению и реабилитации // Практическая медицина. — 2020. — Т.18. — №3. — С.32-37. [Morozov SL, Polyakova OV, Yanovskaya NV, et al. Spina Bifida. Sovremennye podhody i vozmozhnosti k diagnostike, lecheniyu i reabilitacii. Prakticheskaya medicina. 2020; 18(3): 32-37. (In Russ.)]
2. Sahmat A, Gunasekaran R, Mohd-Zin SW, et al. The Prevalence and Distribution of Spina Bifida in a Single Major Referral Center in Malaysia. *Front Pediatr.* 2017; 5: 237. doi: 10.3389/fped.2017.00237.
3. Schindelmann KH, Paschereit F, Steege A, Stoltenburg-Didinger G, Kaindl AM. Systematic Classification of Spina Bifida. *J Neuropathol Exp Neurol.* 2021; 80(4): 294-305. doi: 10.1093/jnen/nlab007.
4. Pattisapu JV, Veerappan VR, White C, et al. Spina bifida management in low- and middle-income countries – a comprehensive policy approach. *Childs Nerv Syst.* 2023; 39(7): 1821-1829. doi: 10.1007/s00381-023-05988-z.

5. Иванов С.В., Кенис В.М., Щедрина А.Ю. и др. Spina bifida: мультидисциплинарная проблема (обзор литературы) // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. — 2021. — Т.11. — №2. — С.201-213. [Ivanov SV, Kenis VM, SHCHedrina AYU, et al. Spina bifida: mult'itisciplinarnaya problema. Rossijskij vestnik detskoj hirurgii, anesteziologii i reanimatologii. 2021; 11(2): 201-213. (In Russ.)]
6. Prodan N, Hoopmann M, Sonek J, et al. Fetal profile in fetuses with open spina bifida. Arch Gynecol Obstet. 2020; 301(5): 1167-1171. doi: 10.1007/s00404-020-05503-8.
7. Grivell RM, Andersen C, Dodd JM. Prenatal versus postnatal repair procedures for spina bifida for improving infant and maternal outcomes. Cochrane Database Syst Rev. 2014; 2014(10): cd008825. doi:10.1002/14651858.cd008825.pub2.
8. Di Mascio D, Greco F, Rizzo G, et al. Diagnostic accuracy of prenatal ultrasound in identifying the level of the lesion in fetuses with open spina bifida: A systematic review and meta-analysis. Acta Obstet Gynecol Scand. 2021; 100(2): 210-219. doi: 10.1111/aogs.14001.
9. Lei C, Yingying T, Yujie D. Neural Network Algorithm-Based Three-Dimensional Ultrasound Evaluation In The Diagnosis Of Fetal Spina Bifida. Scientific Programming. 2021; 2021(4): 1-9. doi: 10.1155/2021/3605739.
10. Gebretsadik T, Cooper WO, Ouyang L, et al. Rates of hospitalization for urinary tract infections among medicaid-insured individuals by spina bifida status, Tennessee 2005-2013. Disabil Health J. 2020; 13(4): 100920. doi: 10.1016/j.dhjo.2020.100920.
11. Basaloglu HK, Celik S, Kille KD, et al. Spina Bifida: Morphological Features, Molecularegulations and Signal Pathways. J Spine. 2017; 6(1): 2-7. doi: 10.4172/2165-7939.1000352.
12. Mufti N, Aertsen M, Ebner M, et al. Cortical spectral matching and shape and volume analysis of the fetal brain pre- and post-fetal surgery for spina bifida: a retrospective study. Neuroradiology. 2021; 63(10): 1721-1734. doi: 10.1007/s00234-021-02725-8.
13. Mufti N, Chappell J, Aertsen M, et al. Assessment of longitudinal brain development using super-resolution magnetic resonance imaging following fetal surgery for open spina bifida. Ultrasound Obstet Gynecol. 2023; 62(5): 707-720. doi: 10.1002/uog.26244.
14. Ebner M, Wang G, Li W, et al. An automated framework for localization, segmentation and super-resolution reconstruction of fetal brain MRI. Neuroimage. 2020; 206: 116324. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116324.
15. Trigui R, Adel M, Di Bisceglie M, et al. Bladder Wall Segmentation and Characterization on MR Images: Computer-Aided Spina Bifida Diagnosis. J Imaging. 2022; 8(6): 151. doi: 10.3390/jimaging8060151.
16. Cengizler C, Kerem Ün M, Buyukkurt S. A novel evolutionary method for spine detection in ultrasound samples of spina bifida cases. Comput Methods Programs Biomed. 2021; 198: 105787. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105787.
17. Cengizler Ç, Ün MK, Büyükkurt S. A Nature-Inspired Search Space Reduction Technique for Spine Identification on Ultrasound Samples of Spina Bifida Cases. Sci Rep. 2020; 10(1): 9280. doi: 10.1038/s41598-020-66468-x.
18. Asha R, Subashka Ramesh SS. An optimized modified faster region convolutional neural network for spina bifida identification from ultrasound images. Biomed Signal Process Control. 2023; 86: 105253.
19. Asha R, Subashka Ramesh SS. Segmentation and classification of fetal spina bifida using DED with FM2DCN. Multimed Tools Appl. 2024; 83(25): 66981-66999.
20. Henry OA, David AO, Adeyemi OA. Machine Learning Algorithm for Classification of Infant Congenital Anomaly. In: Nagar A, Jat DS, Mishra D, Joshi A. (eds) Intelligent Sustainable Systems. Worlds4 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1178. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-97-9559-8_23.
21. Chen L, Tian Y, Deng Y. Neural Network Algorithm-Based Three-Dimensional Ultrasound Evaluation in the Diagnosis of Fetal Spina Bifida. Sci Program. 2021; 1: 3605739.
22. Duran S, Üreten K, Maraş Y, et al. Automatic detection of spina bifida occulta with deep learning methods from plain pelvic radiographs. Res Biomed Eng. 2023; 39(3): 655-661.
23. Weaver JK, Martin-Olenski M, Logan J, et al. Deep Learning of Videourodynamics to Classify Bladder Dysfunction Severity in Patients With Spina Bifida. J Urol. 2023; 209(5): 994-1003. doi: 10.1097/JU.0000000000003267.

24. Hobbs KT, Choe N, Aksenov LI, et al. Machine Learning for Urodynamic Detection of Detrusor Overactivity. *Urology*. 2022; 159: 247-254. doi: 10.1016/j.urology.2021.09.027.
25. Fazelinia H, Ding H, Taylor D, et al. Stratification of neurogenic bladder risk in spina bifida using the urinary peptidome. *Am J Physiol Renal Physiol*. 2024; 326(2): F241-F248. doi: 10.1152/ajprenal.00267.2023.
26. Karthik KV, Rajalingam A, Shivashankar M, Ganjiwale A. Recursive Feature Elimination-based Biomarker Identification for Open Neural Tube Defects. *Curr Genomics*. 2022; 23(3): 195-206. doi: 10.2174/1389202923666220511162038.
27. Takeda JI, Nanatsue K, Yamagishi R, et al. InMeRF: prediction of pathogenicity of missense variants by individual modeling for each amino acid substitution. *NAR Genom Bioinform*. 2020; 2(2): lqaa038. doi: 10.1093/nargab/lqaa038.
28. Wolujewicz P, Aguiar-Pulido V, Thareja G, et al. Integrative computational analyses implicate regulatory genomic elements contributing to spina bifida. *Genet Med Open*. 2024; 2: 101894. doi: 10.1016/j.gimo.2024.101894.
29. McKernan G, Izzo S, Crytzer TM, et al. Relationship Between Motor Level and Wheelchair Transfer Ability in Spina Bifida: A Study From the National Spina Bifida Patient Registry. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020; 101(11): 1953-1960. doi: 10.1016/j.apmr.2020.06.016.
30. Punchak MA, Bond KM, Wathen CA, et al. Use of a machine learning algorithm with a focus on spinopelvic parameters to predict development of symptomatic tethered cord after initial untethering surgery. *J Neurosurg Pediatr*. 2024; 33(5): 405-410. doi: 10.3171/2023.11.PEDS23278.
31. Chao AS, Jhang LS, Hsieh PC. Prenatal Diagnosis and Outcomes of Cervical Meningocele and Myelomeningocele. *J Med Ultrasound*. 2024; 32(1): 21-24. doi: 10.4103/jmu.jmu_51_23.
32. Benjamin RH, Yu X, Navarro Sanchez ML, et al. Co-occurring defect analysis: A platform for analyzing birth defect co-occurrence in registries. *Birth Defects Res*. 2019; 111(18): 1356-1364. doi: 10.1002/bdr2.1549.
33. Pollenus J, Lagae L, Aertsen M, Jansen K. The impact of cerebral anomalies on cognitive outcome in patients with spina bifida: A systematic review. *Eur J Paediatr Neurol*. 2020; 28: 16-28. doi: 10.1016/j.ejpn.2020.07.005.
34. Hebert L, Hillman P, Baker C, et al. Burden of rare deleterious variants in WNT signaling genes among 511 myelomeningocele patients. *PLoS One*. 2020; 15(9): e0239083. doi: 10.1371/journal.pone.0239083.
35. Aguiar-Pulido V, Wolujewicz P, Martinez-Fundichely A, et al. Systems biology analysis of human genomes points to key pathways conferring spina bifida risk. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021; 118(51): e2106844118. doi: 10.1073/pnas.2106844118.
36. Beltran Ale G, Pascoe J, George A, et al. Validation of pediatric sleep questionnaire in children with Chiari malformation and/or spina bifida with or without myelomeningocele. *Sleep Med*. 2021; 84: 93-97. doi: 10.1016/j.sleep.2021.05.030.
37. Gunnnett M, Rocque BG, Nourani A, Beltran-Ale G. Impact of Spina Bifida on Sleep Quality: Current Insights. *Nat Sci Sleep*. 2023; 15: 967-978. doi: 10.2147/NSS.S401269.
38. Rethlefsen SA, Bent MA, Mueske NM, Wren TAL. Relationships among classifications of impairment and measures of ambulatory function for children with spina bifida. *Disabil Rehabil*. 2021; 43(25): 3696-3700. doi: 10.1080/09638288.2020.1746845.
39. Pruthi V, Abbasi N, Ryan G, et al. Fetal Surgery for Open Spina Bifida in Canada: Initial Results. *J Obstet Gynaecol Can*. 2021; 43(6): 733-739.e1. doi: 10.1016/j.jogc.2020.10.014.
40. Sanz Cortes M, Chmait RH, Lapa DA, et al. Experience of 300 cases of prenatal fetoscopic open spina bifida repair: report of the International Fetoscopic Neural Tube Defect Repair Consortium. *Am J Obstet Gynecol*. 2021; 225(6): 678. e1-678. e11. doi: 10.1016/j.ajog.2021.05.044.
41. McLaughlin MJ, Modrcin AC, Hickman TP, Hoffman M. Determining the impact of a clinic coordinator on patient access and clinic efficiency in a pediatric multidisciplinary spina bifida clinic using medical informatics. *J Pediatr Rehabil Med*. 2021; 14(4): 661-666. doi: 10.3233/PRM-200790.

42. Weaver JK, Weiss DA, Aghababian A, et al. Why are pediatric urologists unable to predict renal deterioration using urodynamics? A focused narrative review of the shortcomings of the literature. *J Pediatr Urol.* 2022; 18(4): 493-498. doi: 10.1016/j.jpuro.2022.05.015.
43. Uy MNAR, Tantengco OAG. Investigating the landscape and trajectory of spina bifida research in Asia: a bibliometric analysis. *Childs Nerv Syst.* 2022; 38(8): 1581-1591. doi: 10.1007/s00381-022-05527-2.
44. Trigo L, Eixarch E, Faig-Leite F, et al. Longitudinal evolution of central nervous system anomalies in fetuses with open spina bifida fetoscopic repair and correlation with neurologic outcome. *Am J Obstet Gynecol MFM.* 2023; 5(6): 100932. doi: 10.1016/j.ajogmf.2023.100932.
45. Zoghi S, Feili M, Mosayebi MA, et al. Surgical outcomes of myelomeningocele repair: A 20-year experience from a single center in a middle-income country. *Clin Neurol Neurosurg.* 2024; 239: 108214. doi: 10.1016/j.clineuro.2024.108214.
46. Sakti YM, Lanodiyu ZA, Sakadewa GP, et al. Spina bifida occulta at the lumbar spine level manifested as chronic low back pain and unpredictable neurologic deficit: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024; 116: 109320. doi: 10.1016/j.ijscr.2024.109320.
47. Muranaka I, Kyoda Y, Nofuji S, et al. A Case of Neuropathic Lower Urinary Tract Dysfunction Due to Spina Bifida Occulta Discovered at the Age of 19 Years and Successfully Treated with Multidisciplinary Therapy // Hinyokika kyo. *Acta Urologica Japonica.* 2024; 70(2): 55-59. doi: 10.14989/ActaUroJap_70_2_55.
48. Клинические испытания систем искусственного интеллекта (лучевая диагностика) / сост. Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, Д.Е. Шарова и др. // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». — Вып. 113. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023. — 40 с. [Klinicheskie ispytaniya sistem iskusstvennogo intellekta (luhevaya diagnostika). Sost. YU.A. Vasil'ev, A.V. Vladzimirskij, D.E. SHarova, et al. Seriya «Luchshie praktiki luchevoj i instrumental'noj diagnostiki». Vyp. 113. 2-e izd., pererab. i dop. M.: GBUZ «NPKC DiT DZM», 2023. 40 s. (In Russ.)]
49. Васильев Ю.А., Памова А.П., Арзамасов К.М. и др. Представление метрик диагностической точности в зависимости от классификации программного обеспечения на основе искусственного интеллекта в области лучевой диагностики // Врач и информационные технологии. — 2025. — №1. — С.58-69. [Vasil'ev YUA, PamoVA AP, Arzamasov KM, et al. Predstavlenie metrik diagnosticheskoy tochnosti v zavisimosti ot klassifikacii programmnoy obespecheniya na osnove iskusstvennogo intellekta v oblasti luchevoj diagnostiki. Vrach i informacionnye tekhnologii. 2025; 1: 58-69. (In Russ.)]
50. Заюнчковский С.Ю., Коновалов С.А., Зинченко В.В. и др. Система менеджмента качества: инструмент развития организации или дополнительная нагрузка? // Digital Diagnostics. — 2023. — Т.4. — №3. — С.439-447. [Zayunchkovskij SYU, Konovalov SA, Zinchenko VV, et al. Sistema menedzhmenta kachestva: instrument razvitiya organizacii ili dopolnitel'naya nagruzka? Digital Diagnostics. 2023; 4(3): 439-447. (In Russ.)]
51. Искусственный интеллект в лучевой диагностике: Per Aspera Ad Astra / Под ред. Ю.А. Васильева и А.В. Владзимирского. М.: Издательские решения, 2025. — 491 с. [Iskusstvennyj intellekt v luchevoj diagnostike: Per Aspera Ad Astra. Pod red. YU.A. Vasil'eva i A.V. Vladzimirskogo. M.: Izdatel'skie resheniya, 2025. 491 s. (In Russ.)]
52. Mirzaei S, Khoshkholghsima M, Sabaghzadeh A, Kurdkandi HZ. Cervicothoracic (C6, C7 & T1) spina bifida occulta - A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024; 117: 109477. doi: 10.1016/j.ijscr.2024.109477.
53. Mai CT, Evans J, Alverson CJ, et al. Changes in Spina Bifida Lesion Level after Folic Acid Fortification in the US. *J Pediatr.* 2022; 249: 59-66.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2022.06.023.