



ПРОДОЛЖЕННОЕ МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Обзорная статья

УДК 611.811.012

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-5-89-102>

Возможности объемной эхографии для исследования ЦНС плода в первом триместре беременности

Оксана Владимировна Талолина

Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия; o_talolina@oparina4.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8031-0962>

Аннотация

Введение. Последние полвека характеризуются бурным развитием цифровых технологий и их использованием в разных сферах жизнедеятельности. Активно развивается процесс цифровизации и в различных отраслях медицины. К числу последнего можно отнести и объемную эхографию, обладающую множеством преимуществ перед 2D-визуализацией в возможности получения новой информации об особенностях и характере патологических изменений в формировании аномалий центральной нервной системы (ЦНС) плода.

Цель исследования. Анализ научных публикаций, посвященных применению объемной эхографии с возможностью дальнейшего использования файлов трехмерных ультразвуковых данных для исследования ЦНС плода в I триместре беременности.

Материалы и методы. Обзор проведен на основе анализа баз данных PubMed, eLibrary, Библиотека Cochrane, UpToDate, MEDLINE, Embase с 2011 по 2024 г. Количество проанализированных источников – 42.

Результаты. Получены данные о современных возможностях ультразвуковой диагностики в I триместре беременности для раннего выявления аномалий ЦНС плода.

Выводы. В научной литературе подчеркивается актуальность и клиническая польза применения объемной эхографии с возможностью дальнейшего использования файлов трехмерных ультразвуковых данных для исследования ЦНС плода в I триместре беременности.

Ключевые слова: объемная эхография, I триместр беременности, аномалии ЦНС, машинный анализ эхограмм

Для цитирования: Талолина О. В. Возможности объемной эхографии для исследования ЦНС плода в первом триместре беременности // Радиология — практика. 2025;5:89-102. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-5-89-102>

Источники финансирования

Личные средства автора.

Конфликт интересов

Автор заявляет, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат автору рукописи. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

Соответствие принципам этики

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

THE CONTINUED MEDICAL EDUCATION

Review article

The Possibilities of Volumetric Echography for the Study of the Fetal Central Nervous System in the First Trimester of Pregnancy

Oksana V. Talolina

National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia; o_talolina@oparina4.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8031-0962>

Abstract

Introduction. The past half-century has been marked by rapid advances in digital technologies and their integration into multiple areas of human activity, including medicine. One of the most dynamically evolving fields is volume (three-dimensional) ultrasonography, which offers substantial advantages over conventional 2D-imaging by providing novel insights into the nature and pattern of fetal central nervous system (CNS) anomalies.

Objective. To analyse the scientific literature on the application of volume ultrasonography and subsequent processing of three-dimensional ultrasound data files for the assessment of the fetal CNS during the first trimester of pregnancy.

Materials and Methods. A narrative review was conducted using PubMed, eLibrary, the Cochrane Library, UpToDate, MEDLINE, and Embase for the period 2011–2024. A total of 42 sources were reviewed.

Results. Current data demonstrate the potential of first-trimester ultrasonography for the early detection of fetal CNS anomalies, highlighting the diagnostic capabilities of three-dimensional imaging.

Conclusions. Published evidence underscores the relevance and clinical value of volume ultrasonography, particularly the subsequent utilisation of three-dimensional ultrasound data files, for the investigation of the fetal CNS in the first trimester of pregnancy.

Keywords: Three-dimensional Echography, first Trimester of Pregnancy, CNS Abnormalities, Machine Analysis of Echograms

For citation: Talolina O. V. The Possibilities of Volumetric Echography for the Study of the Fetal CNS in the First Trimester of Pregnancy. *Radiology – Practice*. 2025;5:89-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-5-89-102>

Funding

The study was not funded by any sources.

Conflicts of Interest

The author state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the author of the manuscript. The author confirm the compliance of his authorship with the international ICMJE.

Compliance with Ethical Standards

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

Последние полвека характеризуются бурным развитием цифровых технологий и их использованием в разных сферах жизнедеятельности. Активно развивается процесс цифровизации и в различных отраслях медицины. К числу последнего можно отнести и объемную эхографию, обладающую множеством преимуществ перед 2D-визуализацией в возможности получения новой информации об особенностях и характере патологических изменений в формировании аномалий центральной нервной системы (ЦНС) плода.

Цель: анализ научных публикаций, посвященных применению объемной эхографии с возможностью дальнейшего использования файлов трехмерных ультразвуковых данных для исследования центральной нервной системы (ЦНС) плода в I триместре беременности.

В результате поиска литературы с помощью баз данных Scopus, Medline (Pubmed), Elibrary обнаружено 42 источника, удовлетворяющих поставленным задачам.

В настоящее время скрининговое ультразвуковое исследование первого триместра беременности в режиме реального времени с применением 2D-тех-

нологии относится к рутинной практике и используется в качестве эффективного и безопасного метода визуализации плода [8]. При этом его роль существенно возросла, превратившись из скрининга на анеуплоидию, в основной диагностический инструмент [41].

Активное применение новых технологий диагностического оборудования в области объемного пространственного разрешения позволяет достовернее визуализировать этапы развития плода, максимально возможно снижать срок беременности для раннего выявления и классификации аномалий.

С целью выяснения коррелятивности трехмерной эхографии с двухмерной во время скрининга в I триместре беременности Khalifeh A. и соавт. (2016) [19] провели проспективное наблюдательное исследование при измерении толщины воротникового пространства (ТВП) 366 пациенток с одноплодной беременностью. С этой целью выполнялись три измерения ТВП с использованием общепринятого стандартизированного 2D-метода в средне-сагиттальных плоскостях, а затем измерения ТВП повторялись для каждого случая с помощью трехмерной (3D) эхографии в сагиттальной и ак-

сиальной плоскостях. Подтверждение наличия взаимосвязи между методами основывалось на тесте Крускала — Уоллиса и ранговой корреляции Спирмена. В проведенном исследовании ранговая корреляция Спирмена при сравнении полученных параметров при 2D- и 3D-эхографии в сагиттальной и аксиальной плоскостях составила 0,73 и 0,68 соответственно ($p < 0,001$). Это подтверждало эффективность применения 3D-эхографии при отсутствии условий для получения оптимальных 2D-измерений воротникового пространства.

Положение о том, что для прогнозирования исходов беременности 3D-эхография в I триместре является более эффективным методом по сравнению с 2D-эхографией, выдвинули Tudorache Ş. и соавт. (2019) [36] при выявлении пациенток с высоким риском прерывания беременности, задержкой внутриутробного развития (ЗВУР) и низкой массой при рождении. Ими были изучены объемы плодного яйца, эмбриона, плаценты, желточного мешка в соответствии с копчико-теменным размером (КТР) плода. Авторы выявили наличие взаимосвязи между показателями исследуемых параметров при различных диагностических подходах, степень соответствия между которыми составила 89,7 %. 3D-УЗИ продемонстрировало диагностическую эффективность в 96,6 %, в то время как 2D-УЗИ — в 89,6 % случаев.

Особый интерес представляет ранняя диагностика врожденных аномалий ЦНС, позволяющая не только мониторировать этапы их развития, но прогнозировать вероятность последующих клинических проявлений в виде психоневрологической инвалидизации и нарушения когнитивных функций.

Актуальность раннего выявления данных аномалий обусловлена высокой частотой встречаемости патологии ЦНС, которая составляет 14 / 10 000 родившихся детей, и частотой неблагоприятного прогноза при ее наличии,

хотя он и различается в зависимости от пораженной области головного мозга и типа изменений [22]. Врожденные пороки развития (ВПР) ЦНС в Российской Федерации достигают в среднем 6,2 % от всех врожденных пороков и находятся на 3-м месте в структуре младенческой смерти от ВПР (Туманова У. Н. и соавт., 2018) [1]. Второе место в структуре заболеваний ЦНС занимают дефекты нервной трубки (ДНТ), частота встречаемости которых составляет в среднем от 5,2 случая на 10 000 родов [7] до 18,6 (15,3–23,0) / 10 000 [10]. В настоящее время их региональная распространенность различна и зависит от применения профилактических фолатных программ: в странах Африки — 21,4 (19,3–23,6) / 10 000 [24], в Великобритании — 12,5 (12,1–12,9) / 10 000 [11], а в Китае отмечается снижение до 1,5 / 10 000 [21].

Данные исследований о частоте внутричерепных аномалий при интактной нервной трубке (Morris J. K. и соавт., 2019) приводят показатели 9,8–14 случаев на 10 000 родов [23], а при некоторых вариантах патологии она может составлять 1 : 4000 ($\approx 2,5$ / 10 000) [33]. Но в обновленных рекомендациях ISUOG (2021) (Ультразвуковое исследование центральной нервной системы плода. Часть 2) Paladini D., Malinger G. и соавт. не отвергают выдвинутую ранее гипотезу, что их истинная частота намного выше и может достигать 1 : 100 [25]. Leibovitz Z., Lerman-Sagie T. и соавт. (2022) предположили, что это связано с длительностью внутриутробного развития и организацией коры головного мозга. И здесь важную роль играют следующие патогенетические механизмы: аномальная нейруляция, телэнцефалическое деление, пролиферация и миграция нейронов [20]. Чаще всего именно они определяют формирование вариантов аномалий, остающихся незамеченными в перинатальном периоде, с клиническими проявлениями в более позднем возрасте.

Эхографическая оценка состояния ЦНС в I триместре беременности представляет собой сложную диагностическую задачу в связи с активным развитием и постоянным изменением размеров и формы головного мозга по мере прогрессирования беременности [6, 12, 15]. Тем не менее, используя преимущественно трансвагинальный доступ, можно отчетливо визуализировать структуры мозга плода в 11–14 недель беременности. В случае обнаружения патологии дополнительно необходимо проведение экспертного многоплоскостного обследования с целью ее точной диагностики и классификации [22].

Так, Scheier M. и соавт. (2011) [32] в процессе ретроспективного анализа сохраненных трехмерных изображений задней черепной ямки у нормальных плодов и плодов с открытой расщелиной позвоночника в сериях последовательных пренатальных ультразвуковых сканирований на 11–14, 20–24, 28–34 и 34–38-й неделях беременности описали признаки, которые могли бы позволить выявить этот дефект на более ранних сроках.

Rousian M. и соавт. (2013) [30] в проспективном когортном исследовании в автономном режиме с использованием программного обеспечения 3D (4D view) и VR (V-Scope) и двух различных методов – трехмерной ультразвуковой визуализации (3D) и виртуальной реальности (VR) — проанализировали параметры роста и развития мозжечка в I триместре беременности. Ими были проведены трехкратные измерения поперечного диаметра мозжечка, диаметра левого и правого полушарий и их толщины, которые в последующем соотносились со сроком беременности и КТР плода. По заключению исследователей, применение данных технологий позволило измерять параметры мозжечка начиная с 7 недель беременности, а использование трехмерной эхографии обеспечило лучшую визуализацию моз-

жечка. Авторы предложили использовать полученные значения в качестве эталонных для изучения физиологического и аномального роста и развития мозжечка.

Peker N. и соавт. (2013) [27] применили 3D-эхографию для визуализации четвертого желудочка в I триместре беременности при диагностике дефектов нервной трубки. Авторы заключили, что четвертый желудочек у нормальных плодов легко выявляется в средне-сагиттальной плоскости, а отсутствие его изображения должно служить важным фактором, принимаемым во внимание при ранней диагностике открытых дефектов позвоночника. Ими также была отмечена высокая эффективность применения трехмерной эхографии в диагностике аномалий позвоночника в случае неудобного положения плода, затрудняющего достоверную визуализацию структур.

Conturso R. и соавт. (2015) [14] применили объемную эхографию в сочетании с доплерографией высокой четкости для оценки наличия мозолистого тела в сроках 11–13 недель. 70 пакетов объемных файлов ультразвукового исследования в I триместре были сохранены в режиме пространственной корреляции. При постпроцессорном анализе оценка перикалезных артерий проводилась ими с использованием признаков: «отсутствие визуализации» / «визуализация начала» или «визуализация всего хода». Контрольное исследование для подтверждения наличия мозолистого тела в каждом случае осуществлялось на 20-й неделе беременности. Авторы сделали вывод, что при проведении объемной эхографии с доплерографией высокой четкости перикалезные артерии выявляются с I триместра беременности, так как во всех последующих наблюдениях было подтверждено неизменное мозолистое тело.

Raviova E. и соавт. (2015) [26] продемонстрировали, что полученный в со-

стоянии покоя трансабдоминально или трансагинально единственный набор 3D-файлов всего плода в сроках от 11 до 13 нед. 6 дн. беременности позволяет получить полную информацию для базовой оценки всех его основных анатомических структур. С помощью специализированного программного обеспечения был проведен автономный анализ 186 пакетов трехмерных ультразвуковых изображений органов плода, которые обычно исследуются в первом триместре беременности. Авторы пришли к выводу, что достоверная визуализация большинства органов плода оказалась возможной более чем в 90 % случаев, а полное обследование анатомии плода — успешным более чем в 70 % наблюдений.

Gonçaves L. F. (2016) [18], освещая основные принципы трехмерного УЗИ, подчеркнул клиническую приемлемость метода в пренатальной диагностике аномалий лица, позвоночника, костной системы, а также его высокий потенциал для нейровизуализации при физических ограничениях, связанных с артефактами движения, акустическим затенением и другими барьерами.

По мнению Rooh R. K. (2016) [29], из современных технологий 3D-эхографию, расширяющую возможности выявления пороков развития центральной нервной системы, следует отнести к наиболее привлекательным методам в области ультразвуковой визуализации плода. Современное диагностическое оборудование обеспечивает визуализацию как поверхностной анатомии, так и многоплоскостную визуализацию внутричерепных структур, томографическую ультразвуковую визуализацию головного мозга плода в любом срезе, объемную визуализацию костных структур свода черепа и позвонков, а также толстых срезов внутричерепной структуры. Одновременная объемно-контрастная визуализация одного участка структуры головного мозга плода в нескольких плоскостях позволяет

проводить расчет объема органов-мишеней: четвертого желудочка, бокового желудочка, сосудистого сплетения и внутричерепных объемных патологических структур. 3D-энергетическая или цветовая доплерография делает возможной объемную соноангиографию мозгового кровообращения. Для более детальной нейровизуализации могут быть применены высокоразрешающие режимы объемного изображения по типу виртуальной амниоскопии с использованием перемещаемого виртуального источника освещения (HDlive silhouette) и расширенный режим перемещаемого виртуального источника, совместимый с цветовым и энергетическим доплеровским картированием (HDlive flow). Автор предположил, что технология объемной эхографии для оценки структуры центральной нервной системы плода в сочетании с молекулярно-генетическим анализом способствует выявлению мутации гена, ответственного за нарушение миграции нейронов. По мнению автора, развитие эмбриональной нейросоногенетики сможет внести неопределимый вклад в дифференциальную диагностику заболеваний плода с возможностью профилактики или генной терапии.

Martins Santana E. F. и соавт. (2018) [31] в своем исследовании с использованием 3D-эхографии наглядно представили различные фенотипические характеристики последовательности акрания — экзэнцефалия — анэнцефалия. Объемная поверхностная реконструкция плода убедительно демонстрирует акранию, двустворчатое лицо «Микки-Мауса», кистозную, удлиненную, неправильную и нависающую морфологию головки. При применении данного метода чувствительность выявления основных врожденных аномалий в первом триместре беременности в группах высокого риска составила около 60 %, а при акрании достигала 100 %. Авторы заключили, что представленные измене-

ния патогномоничны для анеуплоидии и ряда генетических синдромов, сочетающихся с другими экстракраниальными пороками.

При ретроспективном анализе сохраненных на 11–13-й неделе пакетов объемных файлов 407 эуплоидных и 88 хромосомно аномальных плодов (трисомия 21, $n = 40$; трисомия 18, $n = 19$; трисомия 13, $n = 7$; триплоидия, $n = 14$; синдром Тернера, $n = 8$). Ferreira C. и соавт. (2019) [17] изучили диаметры субарахноидального пространства в анатомической области непосредственно над силвиевым водопроводом, соответствующей проекции вены Галена. Авторы сделали выводы, что для большинства плодов с триплоидией на сроке беременности 11–13 недель характерно увеличение диаметра субарахноидального пространства в указанной области.

Altmann R. и соавт. (2019) [5] при проведении анализа архивированных папок объемных файлов 47 случаев с беременностью высокого риска в I триместре оценили эхографическую выявляемость аномалий задней черепной ямки (ЗЧЯ) трансвагинальным доступом. Они сравнили полученные описательные и морфометрические характеристики ствола мозга, червя мозжечка, сосудистого сплетения четвертого желудочка, передней перепончатой области, кармана Блейка в случаях с аномалиями задней черепной ямки у беременных, посетивших пренатальный центр для проведения ультразвукового обследования в I триместре, с ранее опубликованными данными плодов без аномалий развития.

Описанный Ushakov F. и соавт. (2019) [37] crash-признак был впервые обнаружен в процессе ретроспективного анализа сохраненных папок объемных файлов УЗИ головного мозга плодов с расщелиной позвоночника, прошедших ультразвуковое исследование в первом триместре беременности. Авторы заключили, что эхографическая картина

crash-признака в виде смещения среднего мозга кзади в сочетании с деформацией затылочной кости в аксиальной плоскости встречается при этой патологии в 90,6 % (48/53) случаев.

Pertl V. и соавт. (2019) [28] с помощью объемной эхографии удалось визуализировать динамику анатомического развития задней черепной ямки в I триместре с последующим проведением скрининга на наличие открытой расщелины позвоночника и кистозных аномалий ЗЧЯ. На основании сопоставления эмбриологического описания с полученной эхографической картиной авторами был предложен диагностический алгоритм продольного развития структур мозжечка, четвертого желудочка и большой цистерны. Характерные особенности данных структур в I триместре с последующими типичными проявлениями во II и III триместрах были разделены на три группы: скопление жидкости в задней черепной ямке (мальформация Денди – Уокера, киста кармана Блейка, Mega Cisterna Magna, арахноидальная киста, гипоплазия червя мозжечка); уменьшенный объем мозжечка (гипоплазия мозжечка, понтоцеребеллярная гипоплазия); подозрительная анатомия мозжечка (порок развития Арнольда – Киари, ромбэнцефалосинапсис, синдром Жубера).

Comănescu M. C. и соавт. (2019) [13] провели детальную оценку состояния мозга плода в I триместре при 2D- и 3D-эхографии в четырех аксиальных плоскостях у 1376 пациенток. Анатомические ориентиры аксиальных плоскостей на уровне боковых желудочков, таламуса, задней черепной ямки и орбит были ими выбраны в соответствии с рекомендациями Abuhamad A., Chaoui R. (2018) [2]. Авторы заключили, что трехмерная эхография делает более доступной достоверную визуализацию необходимых трансталамических плоскостей и помогает избегать косых плоскостей, снижающих точность измерений.

Birnbaum R. и соавт. (2020) [9] при проведении трехмерной эхографии описали раннее развитие мозолистого тела. Измерения проводились в 89 наборах сохраненных объемных файлов головки плода, полученных трансвагинальным доступом в состоянии покоя через передний родничок в сроках между 14-й и 17-й неделями беременности. Авторам удалось четко идентифицировать следующие ориентиры: телохориоидея, отверстие Монро, раннее мозолистое тело, развивающаяся полость прозрачной перегородки. Измеренные в технологии объемно-пространственной корреляции параметры: передний, задний сегменты, высота (по отношению к передней границе) и общий объем мозолистого тела соотносились с гестационным возрастом. Авторы констатировали, что визуализация мозолистого тела плода возможна уже с 14 недель, при этом передний сегмент мозолистого тела появляется раньше, чем задний, и при продолжающемся росте в двух направлениях заднее удлинение значительно больше переднего.

Volpe N., Dall'Asta A. и соавт. (2020) [39] сформулировали положение о возможности проведения многоплоскостной нейросонографии в конце первого триместра, следуя методологии, рекомендованной для специализированного ультразвукового исследования головного мозга плода во втором триместре беременности. Авторы отметили важность расширенного протокола нейросонографии в первом триместре беременности, включающего систематическую оценку специфических маркеров структурных аномалий, таких как соотношение ствол мозга / ствол мозга-затылочная кость (BS / BSOB). По их мнению, это позволит прогнозировать развитие патологии ЦНС во втором триместре беременности.

Подтверждая важность 3D-эхографии в диагностике tethered cord syndrome (синдром фиксированного спинного мозга), He S., Ruan J. и соавт.

(2020) [34] ретроспективно проанализировали 468 наборов объемных эхограмм нормальных плодов в качестве контрольной группы и 14 плодов с TCS в качестве группы сравнения. В их работе возможность измерения между самой каудальной точкой мозгового конуса (МК) и дистальным концом копчика (КД) при 3D-эхографии по повторяемости превзошли 2D-ультразвуковое исследование. При сравнении авторами результатов 3D-эхографии и МРТ существенных различий в эффективности определения местоположения мозгового конуса и измерения указанных параметров выявлено не было.

В более позднем исследовании Volpe P., De Robertis V. и соавт. (2021) [39] продемонстрировали преимущество мультиплоскостной ортогональной корреляции изображений с объемно-контрастной визуализацией для нейросонографии плода при подозрении на аномалию задней черепной ямки в I триместре. Они сравнили ультразвуковые изображения средне-сагиттальной и аксиальных плоскостей головного мозга из пакетов объемных файлов 90 пациенток с нормальной одноплодной беременностью с архивированными в институциональной базе пакетами объемных файлов 41 случая с подтвержденной патологией ЗЧЯ. Исследователи продемонстрировали возможность ультразвуковой оценки расположения сосудистого сплетения четвертого желудочка в I триместре. Авторы заключили, что локализация сосудистого сплетения четвертого желудочка в 11–14 недель беременности является маркером в дифференциации аномалии Денди – Уокера (ДУ) кисты кармана Блейка (ККБ), что согласуется с механизмами развития данных патологических состояний.

Zegarra R. R., Volpe N. и соавт. (2021) [42] подтвердили роль 3D-эхографии в оценке локализации мозгового конуса у плодов в первом триместре беременности. Двумя независимыми операторами

была проведена оценка изображений анатомически нормальных плодов с КТР от 45 до 84 мм в 143 пакетах объемных файлов, полученных путем трансвагинального доступа. Количественный метод включал в себя измерение расстояний между наиболее каудальной частью МК и дистальным концом копчика. Качественный метод представлял собой описание расположения МК по отношению к области впадения пуповины в переднюю брюшную стенку плода. Данная оценка была возможной у 130 плодов (90,9 %). Отсутствие врожденных аномалий было подтверждено во всех случаях после рождения.

Возможности объемной эхографии для визуализации нормального развития структур головного мозга плода в сроки беременности от 11 нед. 3 дн. до 13 нед. 6 дн. были продемонстрированы Altmann R., Rechberger T. и соавт. (2023) [3, 4]. Исследователям удалось получить отчетливую визуализацию ганглионарного возвышения, базальных ганглиев, третьего желудочка с окружающими его структурами по средней линии, а также области будущих полостей прозрачной перегородки и промежуточного паруса в 285 (из 402) и 93 (из 387) наборах сохраненных трехмерных эхограмм. При анализе пакетов архивированных объемных файлов возможность проведения морфометрических измерений зафиксирована в 104 (из 285) и 93 (из 387) наблюдениях.

Несмотря на то что пренатальное ультразвуковое обследование в первом триместре беременности является наиболее важным диагностическим методом, такие проблемы, как высокая подвижность плода, чрезмерная толщина брюшной стенки матери и вариабельность измерений между наблюдателями, ограничивают его дальнейшее клиническое развитие. Для повышения эффективности эхографии в I триместре на современном этапе активно внедряются компьютерные технологии, связанные

с анализом ультразвуковых изображений плода на основе искусственного интеллекта. Современные приложения машинного анализа в ультразвуковом исследовании плода в основном сосредоточены на стандартном обнаружении плоскости, биометрических измерениях и диагностике измененных ультразвуковых изображений.

Хие Н. N. и соавт. (2020) [40] исследовали возможность использования алгоритмов глубокого обучения для классификации нормальных или измененных эхографических изображений головного мозга плода в стандартных аксиальных плоскостях. Для данной цели была использована база массива данных 10 251 плода с нормальной морфометрией и 2529 плодов с подтвержденной патологией ЦНС. После серии предварительных этапов обработки данных было получено 15 372 нормальных и 14 047 измененных изображений головного мозга плода, которые в последующем были разделены на обучающие и тестовые наборы данных (на уровне случая, а не изображения) в соотношении 8 : 2. Обучающие данные использовались с целью научить алгоритмы выполнению сегментации изображения, классификации изображения как нормального или измененного, уточнению локализации поражения. Затем точность была проверена на тестовых наборах данных. Эффективность сегментации оценивалась с использованием точности, отзыва и коэффициента Дайса (DICE), рассчитанного для измерения степени перекрытия между областями, помеченными человеком и сегментированными машиной. Точность сегментации, повторения и DICE в проведенном исследовании составила 97,9, 90,9 и 94,1 % соответственно. Общая точность классификации алгоритмом глубокого обучения составила 96,3 %, а чувствительность и специфичность для идентификации изменений по изображению составили 96,9 и 95,9 % соответственно. Алгоритмы точно указа-

ли область локализации в 61,6 % (1535/2491) измененных изображений, приблизительно в 24,6 % аномалий (614/2491) и нерелевантно в 13,7 % (342/2491). Xiao S. и соавт. (2023) [30] в своей статье заключили, что сочетание искусственного интеллекта (ИИ) с анализом данных ультразвукового исследования может помочь оптимизировать ультразвуковое обследование в I триместре за счет сокращения времени, снижения рабочей нагрузки врача и повышения точности диагностики. Familiari A. и соавт. (2024) [16] сообщили о проведении многоцентрового ретроспективного исследования с участием 16 референсных центров с целью разработки алгоритма искусственного интеллекта (ИИ) для автоматической классификации ультразвуковых изображений задней черепной ямки в I триместре беременности как «нормальных» или «аномальных». Для разработки алгоритма была использована 251 эхограмма головного мозга плода в срединно-сагиттальной плоскости: 150 случаев были классифицированы как «нормальные» и 101 – как «аномальные» (42 случая – открытая спинномозговая грыжа; 59 случаев – мальформация Денди – Уокера). Область интереса выбиралась с помощью визуализации трех гипоехогенных областей ЗЧЯ и количественной оценки с помощью измерения отношения ствол мозга / ствол мозга-затылочная кость (BS / BSOB). Каждое изображение было вручную сегментировано и оптимизировано для применения глубокого обучения. В последующем набор данных был случайным образом разделен на 70 % обучающих (n = 175) и 30 % тестовых (n = 76) наборов и проведена трехкратная перекрестная проверка учебного набора для обучения различных нейронных сетей и выбора оптимальной модели. Тестовый набор использовался исключительно для оценки эффективности классификации выбранной модели. Для объединения нескольких отдельно полученных моделей вероятность про-

гнозов была усреднена. По результатам исследования авторы заключили, что алгоритм глубокого обучения с помощью полностью автоматической обработки данных может помочь врачам ультразвуковой диагностики в оценке состояния головного мозга плода и потенциально повысить эффективность УЗИ в I триместре при выявлении аномалий ЦНС.

Выводы

Проведенный анализ литературы показал многообразие исследований, посвященных современным возможностям объемной эхографии в диагностике аномалий ЦНС у плода в I триместре беременности. Исходя из опубликованных данных научных исследований, можно также сделать вывод об актуальности разработки и внедрения экспертной нейросонографии в I триместре. Все авторы однозначно указывают на эффективность применения технологии трехмерной эхографии и использования алгоритмов глубокого обучения.

Список источников / References

1. Туманова У. Н., Шувалова М. П., Щеголев А. И. Анализ статистических показателей врожденных аномалий как причины ранней неонатальной смерти в Российской Федерации // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018;63(6):60-67. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-5-60-67>
Tumanova U. N., Shuvalova M. P., Shchegolev A. I. Analysis of statistical indicators of congenital anomalies as causes of early neonatal death in the Russian Federation. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii (Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics)*. 2018;63(6):60-67. (In Russ.).
2. Abuhamad A., Chaoui R. The fetal central nervous system. In: Abuhamad A., Chaoui R. First trimester ultrasound diagnosis of fetal abnormalities. 1. Philadelphia: Wolters Kluwer Health. 2018;113-144. ISBN: 9781496396372.

3. Altmann R., Rechberger T., Altmann C., Hirtler L., Scharnreitner I., Stelzl P., Enengl S. Development of the prosencephalic structures, ganglionic eminence, basal ganglia and thalamus at 11 + 3 to 13 + 6 gestational weeks on 3D transvaginal ultrasound including normative data. *Brain Struct. Funct.* 2023;228:2089-2101. <https://doi.org/10.1007/s00429-023-02679-y>
4. Altmann R., Scharnreitner I., Auer C., Hirtler L., Springer C., Falschlehner S., Arzt W. Visualization of the third ventricle, the future cavum septi pellucidi, and the cavum veli interpositi at 11+3 to 13+6 gestational weeks on 3D transvaginal ultrasound including normative data. *Ultraschall Med.* 2023;44(1):e72-e82. <https://doi.org/10.1055/a-1683-6141>
5. Altmann R., Schertler C., Scharnreitner I., Arzt W., Dertinger S., Scheier M. Diagnosis of Fetal Posterior Fossa Malformations in High-Risk Pregnancies at 12–14 Gestational Weeks by Transvaginal Ultrasound Examination. *Fetal Diagn. Ther.* 2020;47(3):182-187. <https://doi.org/10.1159000501500>
6. Andescavage N. N., du Plessis A., McCarter R., Serag A., Evangelou I., Vezina G., Robertson R., Limperopoulos C. Complex Trajectories of Brain Development in the Healthy Human Fetus. *Cereb Cortex.* 2017;27(11):5274-5283. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw306>
7. Atta C. A., Fiest K. M., Frolkis A. D., Jette N., Pringsheim T., St Germaine-Smith C., Rajapakse T., Kaplan G. G., Metcalfe A. Global Birth Prevalence of Spina Bifida by Folic Acid Fortification Status: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am. J. Public Health.* 2016;106:e 24-34. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302902>
8. Bilardo C. M., Chaoui R., Hyett J. A., Kagan K. O., Karim J. N., Papageorgiou A. T., Poon L. C., Salomon L. J., Syngelaki A., Nicolaides K. H. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of 11–14-week ultrasound scan. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2023;61(1):127-143. <https://doi.org/10.1002/uog.26106>
9. Birnbaum R., Barzilay R., Brusilov M., Wolman I., Malinger G. The early pattern of human corpus callosum development: A transvaginal 3D neurosonographic study. *Prenat. Diagn.* 2020;40(10):1239-1245. <https://doi.org/10.1002/pd.5735>
10. Blencowe H., Kancharla V., Moorthie S., Darlison M. W., Modell B. Estimates of global and regional prevalence of neural tube defects for 2015: a systematic analysis. *Ann N Y Acad Sci.* 2018 Feb;1414(1):31-46. <https://doi.org/10.1111/nyas.13548>. Epub 2018 Jan 24. PMID: 29363759.
11. Broughan J. M., Martin D., Higgins T., Swan G., Cullum A., Kurinczuk J. J., Draper E. S., Luyt K., Wellesley D. G., Stevens S., Tedstone A., Rankin J. Prevalence of neural tube defects in England prior to the mandatory fortification of non-wholemeal wheat flour with folic acid: a population-based cohort study. *Arch. Dis. Child.* 2024 Jan 22;109(2):106-112. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2023-325856>
12. Cara M. L., Streatam I., Buga A. M., Iliescu D. G. Developmental brain asymmetry. The good and the bad sides. *Symmetry.* 2022;14:128. <https://doi.org/10.3390/sym14010128>
13. Comănescu M. C., Căpitănescu R. G., Comănescu A. C., Cernea N., Popa A., Barbu E. M., Albulescu D. M. First Trimester Neurosonogram-Our Experience. *Curr Health Sci J.* 2019 Apr-Jun;45(2):167-173. <https://doi.org/10.12865/CHSJ.45.02.06>. Epub 2019 Jun 30. PMID: 31624643; PMCID: PMC6778289.
14. Conturso R., Contro E., Bellussi F., Youssef A., Pacella G., Martelli F., Rizzo N., Pili G., Ghi T. Demonstration of the Pericallosal Artery at 11-13 Weeks of Gestation Using 3D Ultrasound. *Fetal Diagn Ther.* 2015;37(4):305-9. <https://doi.org/10.1159/000366156>. Epub 2014 Nov 1. PMID: 25376870.
15. Engels A. C., Joyeux L., Brantner C., De Keersmaecker B., De Catte L., Baud D., Deprest J., Van Mieghem T. Sonographic

- detection of central nervous system defects in the first trimester of pregnancy. *Prenat. Diagn.* 2016;36(3):266-273. <https://doi.org/10.1002/pd.4770>
16. Familiari A., Di Ilio C., Fanelli T., Volpe P., Dall'Asta A., Volpe N., Zegarra R. R., Minopoli M., Thilaganathan B., Prefumo F., Quarello E., Raffaelli R., Binder J., Grisolia G., Rizzo G., Meagher S., Tran H., Boldrini L., Ghi T. (2024), OP02.09: AIRFRAME: artificial intelligence for recognition of fetal brain anomalies from ultrasound images of the first trimester. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2024;64:64-65. <https://doi.org/10.1002/uog.27891>
17. Ferreira C., Rouxinol-Dias A. L., Loureiro T., Nicolaides K. Subarachnoid space diameter in chromosomally abnormal fetuses at 11-13 weeks' gestation. *J. Matern Fetal Neonatal Med.* 2019;32(12):2079-2083. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1425833>
18. Gonçalves L. F. Three-dimensional ultrasound of the fetus: how does it help? *Pediatr Radiol.* 2016;46(2):177-189. <https://doi.org/10.1007/s00247-015-3441-6>
19. Khalifeh A., Weiner S., Berghella V., Scott S., Gerson A. Comparative Analysis of Two – Versus Three-Dimensional Sonography for Nuchal Translucency Measurement. *Am. J. Perinatol.* 2016;33(5):486-489. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1566248>
20. Leibovitz Z., Lerman-Sagie T., Haddad L. Fetal Brain Development: Regulating Processes and Related Malformations. *Life (Basel).* 2022;12(6):809. <https://doi.org/10.3390/life12060809>
21. Li Z., Di J. Prevention and Control of Birth Defects in China: Achievements and Challenges. *China CDC Wkly.* 2021 Sep 10;3(37):771-772. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.191>. PMID: 34594987; PMCID: PMC8441183.
22. Malinger G., Paladini D., Haratz K. K., Monteagudo A., Pilu G. L., Timor-Tritsch I. E. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2020;56(3):476-484. <https://doi.org/10.1002/uog.22145>
23. Morris J. K., Wellesley D. G., Barisic I., Addor M.-C., Bergman J. E. H., Braz P., Caverro-Carbonell C., Draper E. S., Gatt M., Haeusler M., Klungsoyr K., Kurinczuk J. J., Lelong N., Luyt K., Lynch C., O'Mahony M. T., Mokoroa O., Nelen V., Neville A. J., Pierini A., Randrianaiivo H., Rankin J., Rissmann A., Rouget F., Schaub B., Tucker D. F., Verellen-Dumoulin C., Wiesel A., Zymak-Zakutnia N., Lanzoni M., Garne E. Epidemiology of congenital cerebral anomalies in Europe: A multicentre, population-based EUROCAT study. *Arch Dis in Child.* 2019;104(12):1181-1187. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316733>
24. Oumer M., Tazebew A., Silamsaw M. Birth prevalence of neural tube defects and associated risk factors in Africa: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pediatr* 21, 190 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12887-021-02653-9>
25. Paladini D., Malinger G., Birnbaum R., Monteagudo A., Pilu G., Salomon L. J., Timor-Tritsch I. E. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 2: performance of targeted neurosonography. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2021. <https://doi.org/10.1002/uog.23616>
26. Paviova E., Markov D., Ivanov S. Fetal Anatomy Assessment at 11+0-13+6 W.G. After Acquisition of a Single 3D Volume-Myth or Reality? *Akush. Ginekol. (Sofia)* 2015;54(4):3-11.
27. Peker N., Yeniel A. O., Ergenoglu M., Hurşitoğlu S., Akercan F., Karadadaş N. Combination of intracranial translucency and 3D sonography in the first trimester diagnosis of neural tube defects: case report and review of literature. *Ginekol Pol.* 2013;84(1):65-67. <https://doi.org/10.17772/gp/1543>

28. Pertl B., Eder S., Stern C., Verheyen S. The Fetal Posterior Fossa on Prenatal Ultrasound Imaging: Normal Longitudinal Development and Posterior Fossa Anomalies. *Ultraschall Med.* 2019;40(6): 692-721. <https://doi.org/10.1055/a-1015-0157>
29. Pooh R. K. Three-dimensional Evaluation of the Fetal Brain. Donald School *J. Ultrasound Obstet Gynecol.* 2017;11(4): 268-275. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10009-1532>
30. Rousian M., Groenenberg I. A. L., Hop W. C., Koning A. H. J., van der Spek P. J., Exalto N., Steegers E. A. P. Human embryonic growth and development of the cerebellum using 3-dimensional ultrasound and virtual reality. *Reprod Sci.* 2013; 20(8):899-908. <https://doi.org/10.1177/1933719112468950>
31. Martins Santana E. F., Araujo Júnior E., Tonni G., Costa F. D. S., Meagher S. Acrania-exencephaly-anencephaly sequence phenotypic characterization using two- and three-dimensional ultrasound between 11 and 13 weeks and 6 days of gestation. *J. of Ultrason.* 2018;18(74):240-246. <https://doi.org/10.15557/JoU.2018.0035>
32. Scheier M., Lachmann R., Pětroš M., Nicolaides K. H. Three-dimensional sonography of the posterior fossa in fetuses with open spina bifida at 11–13 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2011;38(6):625-629. <https://doi.org/10.1002/uog.9067>
33. Shwe W. H., Schlatterer S. D., Williams J., du Plessis A. J., Mulkey S. B. Outcome of agenesis of the corpus callosum diagnosed by fetal MRI. *Pediatr Neurol.* 2022;135:44-51. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2022.07.007>
34. He S., Ruan J., Wang X., Lyu G., Wei Y., Huang T., Zeng P. Measurement of fetal conus distance with 3D ultrasonography as a reliable prenatal diagnosis method for tethered cord syndrome. *Obstetrics & Gynaecology Research.* 2020;46(4):587-594. <https://doi.org/10.1111/jog.14202>
35. Xiao S., Zhang J., Zhu Y., Zhang Z., Cao H., Xie M., Zhang L. Application and Progress of Artificial Intelligence in Fetal Ultrasound. *J. Clin. Med.* 2023;12(9): 3298. <https://doi.org/10.3390/jcm12093298>
36. Tudorache Ș., Căpitănescu R. G., Drăgușin R. C., Zorilă G. L., Marinaș M. C., Cernea N., Pătru C. L. Implications of the First Trimester 2d and 3D Ultrasound in Pregnancy Outcome. *Curr. Health. Sci. J.* 2019;45(3):311-315. <https://doi.org/10.12865/CHSJ.45.03.10>
37. Ushakov F., Sacco A., Andreeva E., Tudorache S., Everett T., David A. L., Pandya P. P. Crash sign: new first-trimester sonographic marker of spina bifida. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2019; 54(6):740-745. <https://doi.org/10.1002/uog.20285>
38. Volpe N., Dall'Asta A., Di Pasquo E., Frusca T., Gh T. First-trimester fetal neurosonography: technique and diagnostic potential. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2021; 57(2):204-214. <https://doi.org/10.1002/uog.23149>
39. Volpe P., De Robertis V., Volpe G., Boito S., Fanelli T., Olivieri C., Votino C., Persico N. Xiao. Position of the choroid plexus of the fourth ventricle in first- and second-trimester fetuses: a novel approach to early diagnosis of cystic posterior fossa anomalies. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2021;58 (4):568-575. <https://doi.org/10.1002/uog.23651>
40. Xie H. N., Wang N., He M., Zhang L. H., Cai H. M., Xian J. B., Lin M. F., Zheng J., Yang Y. Z. Using deep-learning algorithms to classify fetal brain ultrasound images as normal or abnormal. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020;56(4):579-587. <https://doi.org/10.1002/uog.21967>
41. Yankova M., Stratieva V., Chaveeva P., Hadjidekov G. Detection of Fetal Defects in First Trimester by Ultrasound Examination – Abilities and Limitations. *International Journal of Gynecology, Obstetrics and Neonatal Care.* 2016;3;41-46. <https://doi.org/10.15379/2408-9761.2016.03.02.03>

42. Zegarra R. R., Volpe N., Bertelli E., Amorelli G. M., Ferraro L., Schera G. B. L., Cromi A., di Pasquo E., Dall'Asta A., Ghezzi F., Frusca T., Ghi T. Three-Dimensional Sonographic Evaluation of the Position of the Fetal Conus Medullaris at First Trimester. *Fetal Diagn. Ther.* 2021;48(6):464-471. <https://doi.org/10.1159/000516516>

Сведения об авторе/ Information about the author

Талолина Оксана Владимировна, врач-эксперт отделения ультразвуковой и функциональной диагностики Национального медицинского исследовательского центра акушерства, гинекологии, перинатологии имени академика В. И. Кулакова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: автор идеи, концепция, сбор и анализ литературных данных, написание текста.

Talolina Oksana Vladimirovna, expert physician, Department of Ultrasound and Functional Diagnostics, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: idea originator, concept development, literature data collection and analysis, manuscript writing.

Статья поступила в редакцию 06.04.2025;
одобрена после рецензирования 10.08.2025;
принята к публикации 10.08.2025.

The article was submitted 06.04.2025;
approved after reviewing 10.08.2025;
accepted for publication 10.08.2025.