



DOI: 10.18413/2658-6533-2024-10-4-0-8

УДК 618.36-004

Возможности ранней диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде (обзор)

Т.Е. Белокриницкая , А.Г. Сидоркина , В.А. Мудров 

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Читинская государственная медицинская академия», ул. Горького, д. 39а, г. Чита, 672000, Российская Федерация
Автор для переписки: В.А. Мудров (*mudrov_viktor@mail.ru*)

Резюме

Актуальность: Поражение головного мозга плода во время беременности – это одна из основных причин смерти и инвалидности у детей раннего возраста, а также детского церебрального паралича. У детей с детским церебральным параличом наблюдаются двигательные нарушения различной степени выраженности, которые оказываются вторичными по отношению к поражениям или аномалиям головного мозга, возникающим в антенатальном периоде. **Цель исследования:** Анализ современных методов ранней диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде. **Материалы и методы:** Поиск в информационных базах по заданным ключевым словам: «плацентарная недостаточность», «магнитно-резонансная томография», «нейросонография плода», «ультразвуковая доплерография», «поражения головного мозга плода» выявил 1473 статьи, посвященные проблемам диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде. После исключения дублирующих публикаций (852) и публикаций давностью выхода более 10 лет (574) анализу подлежали 47 литературных источников. В исследовании использованы информационные базы: PubMed, PubMed Central, Scopus, MEDLINE, ScienceDirect, Cochrane Library, eLibrary за период с 2014 г. до ноября 2023 г. **Результаты:** Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет определить у плода наличие врожденных аномалий развития ЦНС, аномалий белого вещества, количество дезоксигемоглобина в нервной ткани; а также выявить плацентарные нарушения. Нейросонография является методом пренатальной диагностики, который визуализирует внутримозговые кровоизлияния, структуру коры головного мозга, силвиевой борозды и мозолистого тела. Последовательное применение данных методов диагностики у пациенток группы риска способствует персонализации тактики ведения и родоразрешения, что в перспективе позволит снизить частоту неблагоприятных перинатальных исходов и потерь. **Заключение:** При помощи МРТ возможно провести не только оценку состояния ЦНС плода, но и получить представление о состоянии плаценты. Данный метод исследования позволит по-новому взглянуть на проблему хронической плацентарной недостаточности и более качественно оценить степень влияния плацентарных нарушений на состояние плода. Нейросонография, в свою очередь, является более доступным методом диагностики патологических состояний ЦНС плода, который тоже имеет высокую чувствительность в рамках выявления ишемически-гипоксического повреждения головного мозга в антенатальном периоде.

Ключевые слова: плацентарная недостаточность; гипоксически-ишемическое поражение головного мозга; магнитно-резонансная томография; нейросонография; ультразвуковая доплерография

Для цитирования: Белокриницкая ТЕ, Сидоркина АГ, Мудров ВА. Возможности ранней диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде (обзор). Научные результаты биомедицинских исследований. 2024;10(4):589-605. DOI: 10.18413/2658-6533-2024-10-4-0-8

Possibilities for early diagnosis of fetal central nervous system lesions in the antenatal period (review)

Tatiana E. Belokrinitskaya , Anastasia G. Sidorkina , Victor A. Mudrov 

Chita State Medical Academy,
39a Gorky St., Chita, 672000, Russia

Corresponding author: Victor A. Mudrov (mudrov_viktor@mail.ru)

Abstract

Background: Fetal brain damage during pregnancy is a major cause of neonatal death and disability, as well as infantile cerebral palsy. Infants with cerebral palsy experience motor impairments of varying severity that appear to be secondary to brain lesions or abnormalities that occur during the perinatal period. **The aim of the study:** To analyse modern methods for early diagnosis of fetal central nervous system lesions in the antenatal period. **Materials and methods:** A search in information databases using the given keywords: “placental insufficiency”, “magnetic resonance imaging”, “fetal neurosonography”, “ultrasound Dopplerography”, “fetal brain lesions” has revealed 1473 articles devoted to the problems of diagnosing fetal central nervous system lesions in the antenatal period period. After excluding duplicate publications (852) and publications more than 10 years old (574), 47 literature sources were analysed. The study used the following data bases: PubMed, PubMed Central, Scopus, MEDLINE, ScienceDirect, Cochrane Library, eLibrary for the period from 2014 to November 2023. **Results:** Magnetic resonance imaging (MRI) can determine the presence of congenital abnormalities of CNS, white matter abnormalities, and the amount of deoxyhemoglobin in the nervous tissue in the fetus; and also identify placental disorders. Neurosonography is a prenatal diagnostic method that visualizes intracerebral hemorrhages, the structure of the cerebral cortex, Sylvian fissure and corpus callosum. The consistent use of these diagnostic methods in patients at risk contributes to the personalization of management and delivery tactics, which in the future will reduce the incidence of adverse perinatal outcomes and losses. **Conclusion:** MRI not only makes it possible to assess the fetal central nervous system, but also allows the placenta to be assessed. This method will allow us to take a fresh look at the problem of chronic placental insufficiency and more qualitatively assess the degree of influence of placental disorders on the fetus. Neurosonography, in turn, is a more accessible method for diagnosing the pathological state of the fetal central nervous system, which also has high sensitivity in the prenatal detection of ischemic-hypoxic brain damage.

Keywords: placental insufficiency; hypoxic-ischemic brain damage; magnetic resonance imaging; neurosonography; ultrasound Dopplerography

For citation: Belokrinitskaya TE, Sidorkina AG, Mudrov VA. Possibilities of early diagnosis of fetal central nervous system lesions in the antenatal period (review). Research Results in Biomedicine. 2024;10(4):589-605. Russian. DOI: 10.18413/2658-6533-2024-10-4-0-8

Введение. В настоящее время плацентарная недостаточность – это распространённое осложнение беременности, которое является основной причиной задержки роста плода (ЗРП). В результате хронической плацентарной недостаточности (ХПН) плод испытывает гипоксию и дефицит питательных веществ.

Неонатальная заболеваемость, обусловленная ХПН, зависит от сроков развития плацентарной дисфункции, а также от своевременности родоразрешения. Состояние сердечно-сосудистой системы и недостаточное развитие других органов и систем плода при ЗРП на момент родоразрешения – это основной фактор, способствующий неблагоприятным постнатальным последствиям [1, 2, 3].

Перинатальное повреждение головного мозга считается одной из основных причин смерти и инвалидности у детей раннего возраста. Отсутствие достаточного количества кислорода и питательных веществ при плацентарной недостаточности может привести не только к задержке роста, но и гипоксии плода. Гипоксия же, в свою очередь, сопровождается повреждением клеток мозга и нарушением его развития. Следствием этого могут стать такие осложнения, как перинатальная асфиксия, церебральный паралич и т.д. Кроме того, среди выживших новорожденных отмечается увеличение распространенности неврологических, поведенческих и психиатрических проблем в более позднем возрасте. Недавние достижения в области акушерства, репродуктивной медицины и интенсивной терапии новорожденных привели к значительному повышению показателей выживаемости недоношенных детей, а также новорожденных, перенесших асфиксию. Акцент исследований в настоящее время сместился с изучения факторов, вызывающих последствия для функционирования мозга в постнатальном

периоде, на изучение возможностей диагностики и профилактики данных осложнений. Этиология повреждения головного мозга плода является многофакторной, поражение ЦНС может развиваться не только вследствие плацентарной недостаточности, но и внутриутробной инфекции. Определенную роль играют и генетические факторы, являющиеся важными предикторами неблагоприятного неврологического исхода [4, 5].

Детский церебральный паралич (ДЦП) – термин, объединяющий группу хронических непрогрессирующих симптомокомплексов двигательных нарушений, вторичных по отношению к поражениям или аномалиям головного мозга, возникающим в перинатальном периоде. Согласно европейским данным, средняя частота ДЦП составляет 2,08 на 1000 живорожденных, показатель которой в группе детей, родившихся с низкой массой тела, в 70 раз выше, чем у детей с нормальной массой тела при рождении. Считается, что значительная часть ДЦП связана с осложнениями антенатального периода. Аномалии пуповины и плаценты сопровождаются увеличением риска неблагоприятных исходов для новорожденных. Однако в настоящее время остается невыясненным, несут ли эти состояния повышенный риск развития ДЦП [6, 7]. Повреждение развивающегося мозга до, во время или сразу после родов влияет как на неврологическую, так и на опорно-двигательную системы организма, вызывая аномальное сокращение мышц, постуральные изменения, ограничение движений и активности, которые сопровождаются сенсорными нарушениями наряду с расстройствами восприятия, когнитивными проблемами, неспособностью общаться, поведенческими проблемами, эпилепсией и вторичными проблемами опорно-двигательного аппарата [8, 9].

На данном этапе не существует методов лечения ХПН, которые имеют доказательную базу. В связи с этим ЗРП сопряжена с риском преждевременных родов, что, в свою очередь, ухудшает перинатальные исходы, поскольку недоношенность сопровождается функциональной незрелостью всех органов и систем. Частота неблагоприятных исходов, в том числе и патологии развития нервной системы, обратно пропорциональна сроку, на котором потребовалось родоразрешение [10, 11].

Цель исследования. Анализ современных методов ранней диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде.

Материалы и методы исследования. В исследовании использованы информационные базы: PubMed, PubMed Central, Scopus, MEDLINE, ScienceDirect, Cochrane Library, eLibrary за период с 2014 г. до ноября 2023 г. по указанным ключевым словам: «плацентарная недостаточность»/«placental insufficiency», «магнитно-резонансная томография»/«magnetic resonance imaging», «нейросонография плода»/«neurosonography», «ультразвуковая доплерография»/«ultrasound dopplerometry», «поражения головного мозга плода»/«brain damage» в поисковых системах обнаружено 1473 статьи, посвященные проблемам диагностики поражений ЦНС плода в антенатальном периоде. После исключения дублирующей информации (852) и литературных источников, датированных ранее 2014 года (574), заявленной проблеме соответствовало 47 публикаций.

Возможности магнитно-резонансной томографии в ранней диагностике поражений ЦНС плода в антенатальном периоде

Магнитно-резонансная томография (МРТ), которая впервые проведена в 1983 году, всё чаще используется в мире для диагностики врождённых аномалий развития у плода и особенно ЦНС. Данный способ исследования основан на измерении

электромагнитного отклика атомных ядер, находящихся в сильном постоянном магнитном поле, в ответ на возбуждение их определённым сочетанием электромагнитных волн. В МРТ такими ядрами являются ядра атомов водорода, присутствующие в огромном количестве в человеческом теле в составе воды и других веществ [12]. Достоинствами МРТ считается безопасность, в том числе и для плода, возможность многоплоскостного сканирования, высокое качество изображения мягких тканей. Отрицательная сторона МРТ – это невозможность проведения исследования при наличии металлических магнитных имплантов в теле пациента [13, 14].

В настоящее время цель МРТ во время беременности – уточнение результатов экспертного ультразвукового исследования, а также получение некоторого объема дополнительной информации. Следует отметить, что МРТ не используется в качестве инструмента первичного скрининга в антенатальном периоде, хотя стандартизированная оценка анатомии плода возможна. Тем не менее, в отдельных случаях (например, при наличии аномалий головного мозга у родственников первой степени родства) МРТ плода может рассматриваться в качестве основного метода, позволяющего своевременно выявить патологию, несмотря на нормальную ультразвуковую картину, предшествовавшую проведению МРТ [15, 16].

МРТ плода может быть выполнена при напряженности поля 1,5 Тл и 3,0 Тл, которые отражают мощность томографа. Мощность МРТ томографа – величина постоянного магнитного поля, измеряемая в Теслах (Тл) согласно Международной системе. Чем выше напряженность магнитного поля, тем более четкое изображение получается на выходе. Таким образом, визуализация головного мозга плода при 3,0 Тл может обеспечить более высокое разрешение и лучшее качество визуализации при одновременном снижении поглощения электромагнитной энергии человеческим телом и может служить

эффективным средством визуализации мозга, тела и сосудов плода [17].

Известно, что хроническая гипоксия может быть следствием аномального развития нервной системы плода и предиктором когнитивных нарушений, развивающихся впоследствии. Уровень оксигенации крови головного мозга плода представляет собой важный физиологический параметр, позволяющий выявить группу риска повреждения головного мозга. В недавних работах, посвященных изучению возможностей количественной МРТ в измерении уровня оксигенации крови у плода, использовали оценку скорости поперечной релаксации (T_2), а также исследование парамагнитной природы дезоксигемоглобина (dHb) с помощью магнитно-резонансной (МР) спектроскопии. Скорость поперечной релаксации (T_2) – это время релаксации после 90° радиочастотного импульса. С помощью специальных приборов можно зарегистрировать сигналы (резонансное излучение) от релаксирующих протонов, и на их анализе построить представление об исследуемом объекте. МР-спектроскопия – это методика проведения исследования на магнитно-резонансном томографе, которая дает возможность определять биохимические изменения тканей при развитии различных заболеваний. Первый метод был успешно применен в магистральных сосудах сердца плодов в III триместре беременности. Он был восприимчив к неоднородностям радиочастотного поля, особенно при напряженности поля равной 3,0 Тл. МР-спектроскопия измеряет магнитную восприимчивость крови, которая связана с количеством присутствующего дезокси-гемоглобина [18, 19]. Следовательно, на основании МР-спектроскопии, позволяющей оценить уровень оксигенации крови, можно спрогнозировать развитие гипоксически-ишемической энцефалопатии у плода. В условиях длительной гипоксии происходит перераспределение кровотока в церебральных артериях в сторону его уменьшения в корковых областях головного мозга. Формируется

так называемый «гипоксический стресс» с выбросом адреналина и норадреналина, а также других соответствующих гормонов и нейромедиаторов, что приводит к более выраженному перераспределению кровотока в сторону жизненно важных органов со значительным повышением сопротивления в периферических органах и системах [20].

Исследования Westby A. и Miller L. (2021) продемонстрировали уменьшение окружности головы (ОГ) плода в сочетании со снижением объема серого вещества его головного мозга, которое в дальнейшем приводит к снижению процессов восприятия, познания, способности к концентрации внимания и ухудшению памяти у детей. Имеются данные и о том, что у новорожденных с ЗРП наблюдаются снижение миелинизации и уменьшение объема белого вещества задних отделов головного мозга, подтвержденное МРТ-исследованиями. Примечательно, как дефицит общего объема мозга и, в частности, белого вещества лежит в основе снижения *intelligence quotient* (IQ) и когнитивных нарушений у детей с задержкой развития [21, 22].

В свою очередь, Neumane S. et al. (2022) утверждают, что возможно широкое применение МРТ для оценки влияния преждевременных родов на развитие головного мозга. Как известно, ХПН сопряжена с риском преждевременных родов, в том числе и спонтанных. Даже при отсутствии очаговых поражений головного мозга недоношенность сопровождается нарушениями роста мозга. В частности, белое вещество головного мозга недоношенных новорожденных в эквивалентном доношенному сроку возрасте имеет более «незрелый» микроструктурный профиль по сравнению с доношенными новорожденными, что согласуется с задержкой или нарушением развития и созревания белого вещества. Степень выраженности ранних аномалий белого вещества (даже при отсутствии явного поражения головного мозга) напрямую связана с худшим исходом развития нервной системы. Недоношенные

дети также подвержены более высокому риску нарушения нейромоторной функции, что может проявляться в недостаточном развитии навыков мелкой и крупной моторики по сравнению с детьми, рожденными в срок [23].

Несмотря на то, что МРТ во время беременности долгое время использовалась для диагностики патологии со стороны плода, в последние годы её применение для визуализации плаценты значительно возросло. В дополнение к возможностям оценки функции, МРТ с широким полем зрения и высоким контрастным разрешением позволяет охарактеризовать анатомию плаценты [24]. Развитие плаценты и головного мозга плода тесно связаны между собой. Плацентарная недостаточность сопряжена с неблагоприятными неонатальными исходами и влияет на развитие нервной системы. Т2-взвешенная МРТ характеризует намагничивание тканей поперек статического магнитного поля и является простым, но полезным методом оценки функции плаценты [25]. Исследования Hutter J. et al. (2023) показали, что снижение плацентарного T2 (время релаксации плаценты после 90° радиочастотного импульса.) характерно для беременности, осложнённой преэклампсией и ранней ЗРП. Полученные результаты ученых дали основания предположить, что значения плацентарного T2 имеют прогностическую ценность в рамках оценки вероятности низкой массы тела плода при рождении в сравнении с оценкой пульсационного индекса маточных артерий [26].

Авторы другого современного исследования, Hansen D.N. et al. (2022), также доказали чувствительность метода T2-взвешенной МРТ в диагностике изменений морфологии плаценты и уровня оксигенации, свидетельствующего о развитии ХПН. T2-взвешенная МРТ – это метод образования изображений с использованием МРТ, при котором сигнал от тканей с различной скоростью релаксации по T2 взвешивается, чтобы создать изображение с лучшим контрастом

между различными типами тканей. Предыдущие работы этих авторов продемонстрировали, что плацента при ЗРП и преэклампсии характеризуется низкими значениями плацентарного T2-звена (времени релаксации плаценты после 90° радиочастотного импульса.), что свидетельствует о низкой плотности протонов, как при кальцинозе или фиброзе плаценты [27].

Таким образом, результаты исследований значительного числа ученых доказали перспективность использования МРТ в клинической практике и необходимость усовершенствования существующих методов измерения [28]. Белое вещество и проводящие пути головного мозга плода развиваются во втором-третьем триместре беременности в быстром, но отчетливом иерархическом порядке. Структура и целостность этих связей белого вещества играют неотъемлемую роль в поддержании эффективности и координации функциональных сетей. Современное понимание этих процессов в значительной степени опирается на посмертные данные. В настоящее время МРТ плода может зафиксировать развитие всего мозга в его живом функционирующем состоянии, тем самым предоставляя важную дополнительную информацию об интенсивности его роста [29]. Несмотря на высокую стоимость данного метода исследования, существует необходимость его внедрения с целью выявления патологических состояний плаценты и ЦНС плода у пациенток группы риска с целью улучшения перинатальных исходов. Своевременное выявление при помощи МРТ аномалий плаценты и головного мозга плода способствуют правильной маршрутизации беременной и привлечению необходимых узких специалистов для оказания квалифицированной медицинской помощи.

Возможности нейросонографии в ранней диагностике поражений ЦНС плода в антенатальном периоде

Нейросонография (НСГ) считается перспективным методом пренатальной диагностики, позволяющим путем

ультразвуковой визуализации оценить состояние нервной системы плода. Головной мозг является трехмерной структурой, поэтому наблюдение за его морфологией в трех основных плоскостях (сагиттальной, фронтальной и осевой) обязательно. Передний родничок и сагиттальный шов могут служить акустическими ультразвуковыми окнами при трансвагинальном сканировании головного мозга, позволяя получать изображения внутрочерепных структур с высоким разрешением. В свою очередь, 3D-доплерография позволяет визуализировать внутримозговую васкуляризацию, что дает возможность получить более точную информацию о церебральной перфузии головного мозга плода [30, 31].

НСГ повышает точность диагностики врожденных аномалий развития головного мозга, оценивает динамику ишемических и травматических внутрочерепных повреждений у плодов и новорожденных. Кроме того, в современной НСГ применяется 22-многоплоскостная методика осмотра головного мозга. Для сканирования используется ряд различных плоскостей, применение которых варьирует в зависимости от особенностей расположения плода [32].

Длительное течение гипоксии вызывает кислородное голодание, что связано с нарушением функции нейронов головного мозга. Ишемия – общее или очаговое ограничение кровоснабжения тканей, которое вызывает некроз, и значитя гораздо более сложным событием, чем гипоксия, поскольку она сопровождается снижением объема циркулирующей крови и ограничением интенсивности выведения продуктов метаболизма головного мозга [33, 34]. Морфологические изменения, связанные с гипоксически-ишемическим поражением мозга плода, могут проявляться: множественными кровоизлияниями в различные отделы головного мозга, отёком, повреждением эндотелия, некрозами серого и белого вещества, инфарктами,

глиозом белого вещества, атрофией, кистами различной локализации, задержкой миелинизации, вентрикуломегалией, гидроцефалией и врожденными пороками развития [35].

Исследования Abdelkader M.A. et al. (2017) наглядно продемонстрировали, что, благодаря пренатальному проведению НСГ в группе риска по развитию внутримозгового кровоизлияния у плода, у 21 плода было диагностировано внутримозговое кровоизлияние, у 2 – экстрацеребральное (субдуральное) кровоизлияние, у 16 – внутримозговое (внутрижелудочковое) кровоизлияние, у 3 – комбинированное кровоизлияние. Средний гестационный возраст, в котором им был поставлен диагноз, составлял $29,8 \pm 5,2$ недели. Обращает внимание, что в 76% случаев не имелось идентифицируемых факторов риска. ЗРП при этом была ассоциирована с 57,9% внутримозговых кровоизлияний, что составило больше половины от всех случаев [35, 36].

На данном этапе перинатальные и ранние постнатальные исходы внутрочерепного кровоизлияния, диагностированного у плода, изучены недостаточно. Авторы Gupta V. et al. (2023) провели исследование, согласно которому живорождением закончились 75% случаев внутримозгового кровоизлияния, выявленного внутриутробно, прерыванием беременности по медицинским показаниям – 14%, антенатальной гибелью плода – 11%. Обращает на себя внимание, что наличие обширных кровоизлияний сопровождается снижением частоты живорождений до 33%. Проспективное клиническое наблюдение до двухлетнего возраста 37 младенцев, у которых внутриутробно было диагностировано внутримозговое кровоизлияние, показало, что у 57% наблюдалось нормальное развитие нервной системы, у 24% – легкие отклонения от нормы, у 14% – умеренные отклонения, у 5% – выраженные нарушения развития нервной системы [37].

В настоящее время появляется всё больше доказательств того, что

преэклампсия приводит к нарушениям развития нервной системы у плода, которые впоследствии проявляются умственной отсталостью, синдромом дефицита внимания и гиперактивности, аутизмом, эпилепсией и другими когнитивными нарушениями. У плодов с ЗРП также наблюдаются изменения в развитии коры головного мозга, мозолистого тела, размера ствола мозга и мозжечка, а также метаболизма мозга, которые в дальнейшем связаны с аномальным развитием нервной системы. Исследования Basso A. et al. (2022) продемонстрировали, что при ЗРП наблюдаются значительные различия в развитии коры головного мозга в сравнении с нормой по результатам НСГ у плода, проведённой на сроке 31-35 недель гестации, которые проявляются уменьшением глубины сильвиевой борозды и увеличением глубины островковой доли. Интересно, что аналогичная картина развития коры головного мозга наблюдалась при беременности, осложнённой преэклампсией: отмечается уменьшение глубины сильвиевой борозды и увеличение глубины островковой доли. Существенных различий в глубине теменно-затылочной борозды, поясной извилины или пяточной борозды в указанных группах выявлено не было [38, 39].

При оценке особенностей развития ЦНС у маловесных плодов для срока гестации и плодов с ЗРП в сравнении с группой контроля (с учетом поправки на

бипариетальный размер) отмечаются: увеличение глубины островков, линейная тенденция к уменьшению глубины сильвиевой борозды. Обращает на себя внимание тот факт, что данные показатели не отличались статистически значимо между маловесными плодами для срока гестации и плодами с ЗРП. Единственным параметром, позволяющим с высокой долей достоверности идентифицировать маловесный плод от плода с задержкой роста, оказалась длина мозолистого тела, которая была значительно ниже при ЗРП в сравнении как с группой контроля, так и со случаями маловесности плода. Длина мозолистого тела у маловесных плодов была сопоставима с группой контроля. Различий в глубине теменно-затылочной борозды между тремя исследуемыми группами выявлено не было [40, 41, 42]. Приведенные сведения позволяют заключить, что указанные параметры могут быть использованы в качестве дополнительных критериев диагностики не только ЗРП, но и плацентарной недостаточности. Кроме того, следует рассмотреть возможность применения комплексного анализа вышеназванных характеристик для прогнозирования неблагоприятных антенатальных исходов.

Таким образом, можно сделать вывод, что МРТ и НСГ – это взаимодополняющие методы диагностики. Как показано на рисунке 1, совместное применение НСГ и МРТ поможет оптимизировать диагностику антенатальных повреждений ЦНС и тактику ведения таких пациенток.

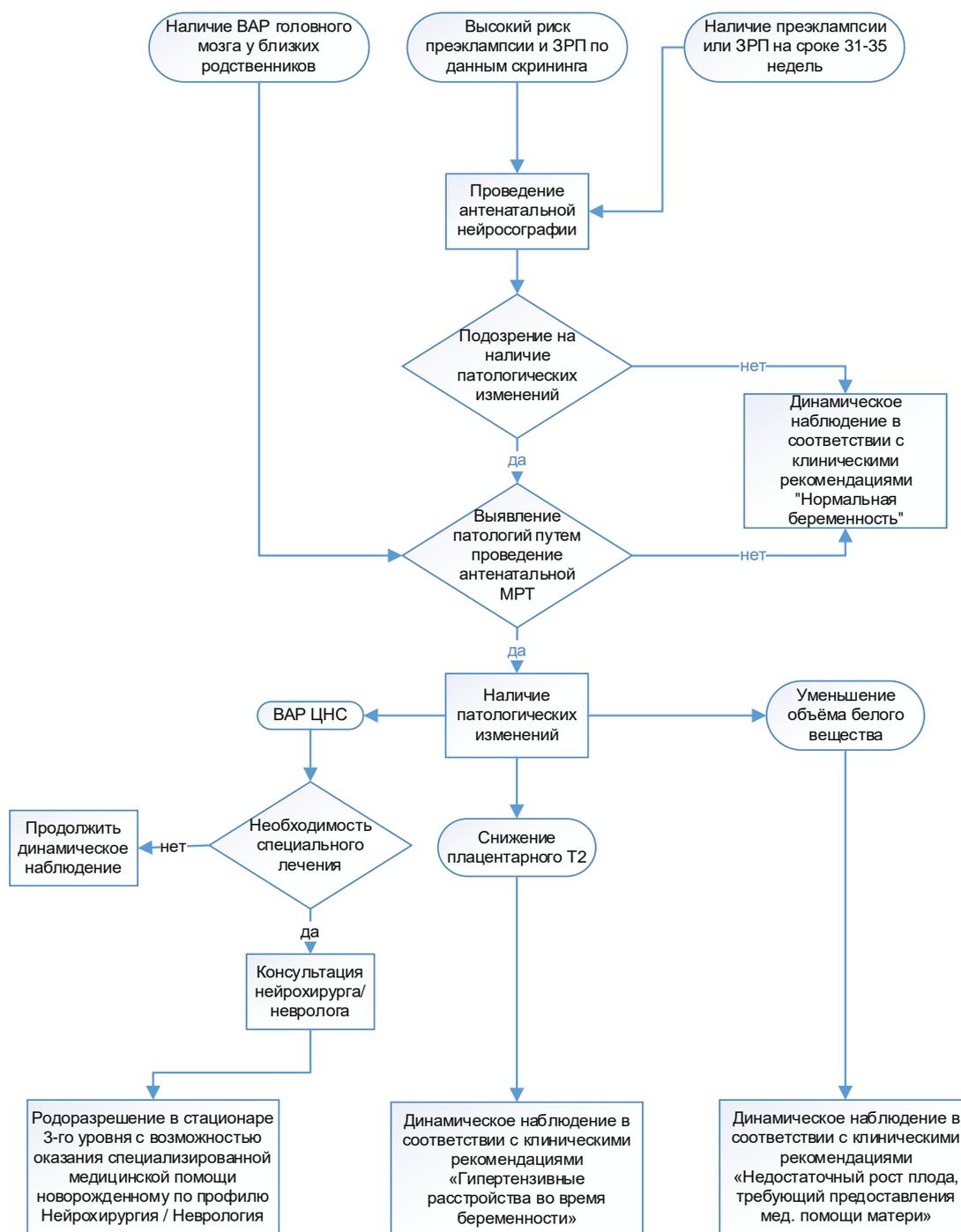


Рис. 1. Алгоритм ведения пациенток высокой степени риска по развитию поражений ЦНС плода в антенатальном периоде

Fig. 1. Algorithm for the management of patients at high risk for the development of fetal central nervous system lesions in the antenatal period

Возможности ультразвуковой доплерографии в ранней диагностике поражений ЦНС плода в антенатальном периоде

Ультразвуковая доплерография (УЗДГ) широко применяется в акушерстве с целью оценки маточно-плацентарного и

плодово-плацентарного кровотока. Исследования Sirico A. et al. (2018) продемонстрировали, что показатели церебро-плацентарного отношения (ЦПО), т.е. отношения индекса резистентности в средней мозговой артерии к индексу резистентности в артерии пуповины, в

значительной степени коррелируют с патологическим типом кардиотокографии (КТГ) и оценкой состояния новорожденного по шкале Апгар на 5 минуте жизни менее 7 баллов. Также в данном исследовании было показано, что более низкие значения ЦПО наблюдались у плодов с ЗРП в сравнении с маловесными плодами и плодами, размеры которых соответствуют гестационному возрасту [43]. В свою очередь Ismail A. et al. (2022) определили, что значения ЦПО относительно постоянны в течение последних 10 недель течения нормальной беременности. В данном исследовании было установлено, что значение ЦПО ниже 1,08 считается аномальным и сопряжено с неблагоприятными перинатальными исходами (экстренное кесарево сечение, госпитализация новорожденного в отделение реанимации и интенсивной терапии). Первостепенное значение имеет правильное определение значений пульсационного индекса (PI) средней мозговой артерии (СМА) и PI маточных артерий как нормальных, так и патологических, поскольку эти параметры отражают наличие плацентарной недостаточности [44].

Беременность, протекающая на фоне ЗРП, сопряжена с высоким риском краткосрочных и долгосрочных осложнений для новорожденного. Исследования ряда авторов продемонстрировали, что PI маточных артерий был выше в группе беременных с ЗРП, в то время как PI СМА и ЦПО были ниже, что является статистически значимым результатом. В свою очередь, низкие показатели ЦПО (менее 10-го перцентиля) ассоциировались с повышенным риском неблагоприятного перинатального исхода, наличием маркеров перинатальной гипоксии (рН пуповинной артериальной или венозной пуповинной крови ≤ 7 и $\leq 7,1$ соответственно, оценка по шкале Апгар менее 7 баллов на пятой минуте жизни или госпитализация в отделение интенсивной терапии новорожденных на период времени более 24 часов), кесаревым сечением при предполагаемом ухудшении

состояния плода и рождением новорожденных с массой тела менее третьего перцентиля. Многофакторный регрессионный анализ показал, что PI маточных артерий ($p = 0,04$) и ЦПО ($p = 0,002$) коррелируют с вероятностью развития неблагоприятного перинатального исхода. Однако следует особо отметить низкую диагностическую значимость указанных параметров, что напрямую указывает на необходимость комплексной оценки состояния плода у матерей с хронической плацентарной недостаточностью [45, 46]. Между тем, показатели кровотока в маточных артериях соотносятся с плацентарной функцией, поэтому плацентарная недостаточность, даже субклиническая, может быть заподозрена достаточно рано. Патология развития плаценты, характерная для преэклампсии и ЗРП, определяет наличие недостаточности маточно-плацентарного кровотока вследствие отсутствия трансформации спиральных артерий. Исследования, проведенные в последние десятилетия, подтвердили повышение сопротивления кровотока в маточных артериях у пациенток, у которых впоследствии развилась преэклампсия или ЗРП. PI маточных артерий более 95 перцентиля коррелирует с вероятностью развития преэклампсии и ЗРП как во втором, так и в третьем триместре [47]. Как известно, преэклампсия может стать причиной тяжёлых осложнений не только у плода, но и у матери. Своевременное выявление преэклампсии и ЗРП поможет впоследствии избежать неблагоприятных исходов как для матери, так и для плода.

Заключение. С позиций реализации потребностей современной перинатальной медицины магнитно-резонансная томография имеет перспективы для активного внедрения в клиническую практику, несмотря на экономическую затратность метода. При помощи МРТ возможно провести не только оценку состояния ЦНС плода, но и получить представления о состоянии плаценты.

Данный метод исследования позволит по-новому взглянуть на проблему хронической плацентарной недостаточности и более качественно оценить степень влияния плацентарных нарушений на плод. Нейросонография, в свою очередь, является более доступным методом диагностики патологии ЦНС плода, который тоже имеет высокую чувствительность в рамках внутриутробной диагностики ишемически-гипоксического повреждения головного мозга. Следовательно, НСГ в перспективе может стать скрининговым методом. Внедрение совместного применения МРТ и НСГ, на наш взгляд, позволит не только своевременно диагностировать хроническую плацентарную недостаточность, но и повысить точность прогноза перинатальных поражений ЦНС у детей от матерей с плацентарными нарушениями [48]. Оценка показателей УЗДГ, в свою очередь, отличается низкой диагностической ценностью в прогнозировании неблагоприятных перинатальных исходов. Следовательно, доплерография зачастую используется в качестве метода, позволяющего выделить группу риска угрожаемых по развитию перинатального поражения ЦНС.

Информация о финансировании

Финансирование данной работы не проводилось.

Financial support

No financial support has been provided for this work.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors have no conflict of interest to declare.

Список литературы

1. Преждевременные роды. Клинические рекомендации [Электронный ресурс] [дата обращения 30.11.2023]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/331_1
2. Malhotra A, Allison BJ, Castillo-Melendez M, et al. Neonatal morbidities of fetal growth restriction: pathophysiology and impact. *Frontiers in Endocrinology*. 2019;10:55. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00055>
3. Calek E, Binder J, Palmrich P, et al. Effects of Intrauterine growth restriction (IUGR) on growth and body composition compared to constitutionally small infants. *Nutrients*. 2023;15(19):4158. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15194158>
4. Bendix I, Hadamitzky M, Herz J, et al. Adverse neuropsychiatric development following perinatal brain injury: from a preclinical perspective. *Pediatric Research*. 2019;85(2):198-215. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0222-6>
5. Felderhoff-Muser U, Hüning B. Biomarkers and neuromonitoring for prognosis of development after perinatal brain damage. *Monatsschrift Kinderheilkunde*. 2022;170(8):688-703. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00112-022-01542-4>
6. Ebbing C, Rasmussen S, Kessler J, et al. Association of placental and umbilical cord characteristics with cerebral palsy: national cohort study. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2023;61(2):224-230. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.26047>
7. Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2020;16:1505-1518. DOI: <https://doi.org/10.2147/NDT.S235165>
8. Paul S, Nahar A, Bhagawati M, et al. A review on recent advances of cerebral palsy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2022;2022:2622310. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2622310>
9. Feng Y. Recent research on the long-term neurodevelopmental outcomes of very preterm infants. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. 2023;25(10):1066-1071. Chinese. DOI: <https://doi.org/10.7499/j.issn.1008-8830.2305072>
10. Barfield WD. Public health implications of very preterm birth. *Clinics in Perinatology*. 2018;45(3):565-577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clp.2018.05.007>
11. Besiri K, Begou O, Deda O, et al. A cohort study of gastric fluid and urine metabolomics for the prediction of survival in severe prematurity. *Metabolites*. 2023;13(6):708. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13060708>
12. Linh LT, Duc NM, Nhung NH, et al. Detecting fetal central nervous system anomalies

- using magnetic resonance imaging and ultrasound. *Medical Archives*. 2021;75(1):45-49. DOI: <https://doi.org/10.5455/medarh.2021.75.45-49>
13. Aertsen M. Fetal MRI for dummies: what the fetal medicine specialist should know about acquisitions and sequences. *Prenatal Diagnosis*. 2020;40(1):6-17. DOI: <https://doi.org/10.1002/pd.5579>
14. Flenady V, Wojcieszek AM, Ellwood D, et al. Classification of causes and associated conditions for stillbirths and neonatal deaths. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2017;22(3):176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.siny.2017.02.009>
15. Prayer D, Malinger G, De Catte L, et al. ISUOG practice guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2023;61(2):278-287. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.26129>
16. Manganaro L, Capuani S, Gennarini M, et al. Fetal MRI: what's new? A short review. *European Radiology Experimental*. 2023;7(1):41. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00358-5>
17. Krishnamurthy U, Neelavalli J, Mody S, et al. MR imaging of the fetal brain at 1.5 T and 3.0 T field strengths: comparing specific absorption rate (SAR) and image quality. *Journal of Perinatal Medicine*. 2015;43(2):209-220. DOI: <https://doi.org/10.1515/jpm-2014-0268>
18. Uzianbaeva L, Yan Y, Joshi T, et al. Methods for monitoring risk of hypoxic damage in fetal and neonatal brains: a review. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2022;49(1-2):1-24. DOI: <https://doi.org/10.1159/000520987>
19. Jaros R, Barnova K, Vilimkova Kahankova R, et al. Independent component analysis algorithms for non-invasive fetal electrocardiography. *PLoS ONE*. 2023;18(6):e0286858. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286858>
20. Volpe JJ. Placental assessment provides insight into mechanisms and timing of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy. *Journal of Neonatal-Perinatal Medicine*. 2019;12(2):113-116. DOI: <https://doi.org/10.3233/npm-190270>
21. Westby A, Miller L. Fetal Growth Restriction Before and After Birth. *American Family Physician*. 2021;104(5):486-492.
22. Knight MJ, Smith-Collins A, Newell S, et al. Cerebral white matter maturation patterns in preterm infants: an MRI T2 relaxation anisotropy and diffusion tensor imaging study. *Journal of Neuroimaging*. 2018;28(1):86-94. DOI: <https://doi.org/10.1111/jon.12486>
23. Neumane S, Gondova A, Leprince Y, et al. Early structural connectivity within the sensorimotor network: deviations related to prematurity and association to neurodevelopmental outcome. *Frontiers in Neuroscience*. 2022;16:932386. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.932386>
24. Arthuis C, Millischer AE, Bussieres L, et al. MRI based morphological examination of the placenta. *Placenta*. 2021;115:20-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2021.08.056>
25. Sinding M, Peters DA, Frokjaer JB, et al. Placental magnetic resonance imaging T2* measurements in normal pregnancies and in those complicated by fetal growth restriction. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2016;47(6):748-54. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.14917>
26. Hutter J, Ayman ALW, Kyriakopoulou V, et al. Exploring the role of a time-efficient MRI assessment of the placenta and fetal brain in uncomplicated pregnancies and those complicated by placental insufficiency. *Placenta*. 2023;139:25-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2023.05.014>
27. Hansen DN, Sinding M, Petersen A, et al. T2*-weighted placental magnetic resonance imaging: a biomarker of placental dysfunction in small-for-gestational-age pregnancies. *American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM*. 2022;4(3):100578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2022>
28. Arthurs OJ, Rega A, Guimiot F, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the fetal brain in intrauterine growth restriction. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2017;50(1):79-87. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.17318>
29. Wilson S, Pietsch M, Cordero-Grande L, et al. Development of human white matter pathways in utero over the second and third trimester. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2021;118(20):e2023598118. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2023598118>
30. Lipa M, Pooh RK, Wielgos M. Three-dimensional neurosonography - a novel field in fetal medicine. *Ginekologia Polska*. 2017;88(4):215-221. DOI: <https://doi.org/10.5603/GP.a2017.0041>
31. Yi F, Zhang C, Zou Y, et al. Three-Dimensional Crystal Vue Imaging technology assessment of Sylvian fissures at 20-32+6 weeks'

- normal gestation. *European Radiology*. 2023;33(4):2358-2366. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09253-w>
32. Yagel S. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2021;57(1):173-174. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.23559>
33. Gilles F, Gressens P, Dammann O, et al. Hypoxia-ischemia is not an antecedent of most preterm brain damage: the illusion of validity. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2018;60(2):120-125. DOI: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13483>
34. Levison SW, Rocha-Ferreira E, Kim BH, et al. Mechanisms of tertiary neurodegeneration after neonatal hypoxic-ischemic brain damage. *Pediatric Medicine*. 2022;5:28. DOI: <https://doi.org/10.21037/pm-20-104>
35. Abdelkader MA, Ramadan W, Gabr AA, et al. Fetal intracranial hemorrhage: sonographic criteria and merits of prenatal diagnosis. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2017;30(18):2250-2256. DOI: <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1245283>
36. Epstein KN, Kline-Fath BM, Zhang B, et al. Prenatal evaluation of intracranial hemorrhage on fetal MRI: a retrospective review. *American Journal of Neuroradiology*. 2021;42(12):2222-2228. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7320>
37. Gupta V, Schlatterer SD, Bulas DI, et al. Pregnancy and child outcomes following fetal Intracranial hemorrhage. *Pediatric Neurology*. 2023;140:68-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2022.12.014>
38. Basso A, Youssef L, Nakaki A, et al. Fetal neurosonography at 31-35 weeks reveals altered cortical development in pre-eclampsia with and without small-for-gestational-age fetus. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2022;59(6):737-746. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.24853>
39. Boutet ML, Eixarch E, Ahumada-Droguett P, et al. Fetal neurosonography and infant neurobehavior following conception by assisted reproductive technology with fresh or frozen embryo transfer. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2022;60(5):646-656. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.24920>
40. Paules C, Miranda J, Policiano C, et al. Fetal neurosonography detects differences in cortical development and corpus callosum in late-onset small fetuses. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2021;58(1):42-47. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.23592>
41. Miranda J, Paules C, Noell G, et al. Similarity network fusion to identify phenotypes of small-for-gestational-age fetuses. *IScience*. 2023;26(9):107620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107620>
42. Orzel A, Unrug-Bielawska K, Filipecka-Tyczka D, et al. Molecular Pathways of Altered Brain Development in Fetuses Exposed to Hypoxia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(12):10401. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241210401>
43. Sirico A, Diemert A, Glosemeyer P, et al. Prediction of adverse perinatal outcome by cerebroplacental ratio adjusted for estimated fetal weight. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2018;51(3):381-386. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.17458>
44. Ismail A, Ibrahim AL, Rabiou A, et al. Predictive value of doppler cerebroplacental ratio for adverse perinatal outcomes in postdate pregnancies in Northwestern Nigeria. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2022;25(4):406-414. DOI: https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_14_21
45. Rizzo G, Mappa I, Bitsadze V, et al. Role of Doppler ultrasound at time of diagnosis of late-onset fetal growth restriction in predicting adverse perinatal outcome: prospective cohort study. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2020;55(6):793-798. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.20406>
46. Akolekar R, Ciobanu A, Zingler E, et al. Routine assessment of cerebroplacental ratio at 35-37 weeks' gestation in the prediction of adverse perinatal outcome. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2019;221(1):65.e1-65.e18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.03.002>
47. Tudor A, Novac L, Camen IV, et al. The role of uterine artery doppler in the second and third trimesters for prediction of preeclampsia and fetal growth restriction developed as a consequence of placental-mediated diseases. *Current Health Sciences Journal*. 2023;49(2):251-256. DOI: <https://doi.org/10.12865/CHSJ.49.02.251>
48. Панова МС, Панченко АС, Мудров ВА. Новые технологии в диагностике гипоксических состояний у доношенных новорожденных. *Забайкальский медицинский*

вестник. 2023;(2):89-102. DOI:
https://doi.org/10.52485/19986173_2023_2_89

References

1. Preterm labour. Clinical recommendations [Internet] [cited 2023 Nov 30]. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/331_1
2. Malhotra A, Allison BJ, Castillo-Melendez M, et al. Neonatal morbidities of fetal growth restriction: pathophysiology and impact. *Frontiers in Endocrinology*. 2019;10:55. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00055>
3. Calk E, Binder J, Palmrich P, et al. Effects of Intrauterine growth restriction (IUGR) on growth and body composition compared to constitutionally small infants. *Nutrients*. 2023;15(19):4158. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15194158>
4. Bendix I, Hadamitzky M, Herz J, et al. Adverse neuropsychiatric development following perinatal brain injury: from a preclinical perspective. *Pediatric Research*. 2019;85(2):198-215. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0222-6>
5. Felderhoff-Muser U, Hüning B. Biomarkers and neuromonitoring for prognosis of development after perinatal brain damage. *Monatsschrift Kinderheilkunde*. 2022;170(8):688-703. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00112-022-01542-4>
6. Ebbing C, Rasmussen S, Kessler J, et al. Association of placental and umbilical cord characteristics with cerebral palsy: national cohort study. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2023;61(2):224-230. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.26047>
7. Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2020;16:1505-1518. DOI: <https://doi.org/10.2147/NDT.S235165>
8. Paul S, Nahar A, Bhagawati M, et al. A review on recent advances of cerebral palsy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2022;2022:2622310. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2622310>
9. Feng Y. Recent research on the long-term neurodevelopmental outcomes of very preterm infants. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. 2023;25(10):1066-1071. Chinese. DOI: <https://doi.org/10.7499/j.issn.1008-8830.2305072>
10. Barfield WD. Public health implications of very preterm birth. *Clinics in Perinatology*. 2018;45(3):565-577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clp.2018.05.007>
11. Besiri K, Begou O, Deda O, et al. A cohort study of gastric fluid and urine metabolomics for the prediction of survival in severe prematurity. *Metabolites*. 2023;13(6):708. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13060708>
12. Linh LT, Duc NM, Nhung NH, et al. Detecting fetal central nervous system anomalies using magnetic resonance imaging and ultrasound. *Medical Archives*. 2021;75(1):45-49. DOI: <https://doi.org/10.5455/medarh.2021.75.45-49>
13. Aertsen M. Fetal MRI for dummies: what the fetal medicine specialist should know about acquisitions and sequences. *Prenatal Diagnosis*. 2020;40(1):6-17. DOI: <https://doi.org/10.1002/pd.5579>
14. Flenady V, Wojcieszek AM, Ellwood D, et al. Classification of causes and associated conditions for stillbirths and neonatal deaths. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2017;22(3):176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.siny.2017.02.009>
15. Prayer D, Malinge G, De Catte L, et al. ISUOG practice guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2023;61(2):278-287. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.26129>
16. Manganaro L, Capuani S, Gennarini M, et al. Fetal MRI: what's new? A short review. *European Radiology Experimental*. 2023;7(1):41. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00358-5>
17. Krishnamurthy U, Neelavalli J, Mody S, et al. MR imaging of the fetal brain at 1.5 T and 3.0 T field strengths: comparing specific absorption rate (SAR) and image quality. *Journal of Perinatal Medicine*. 2015;43(2):209-220. DOI: <https://doi.org/10.1515/jpm-2014-0268>
18. Uzianbaeva L, Yan Y, Joshi T, et al. Methods for monitoring risk of hypoxic damage in fetal and neonatal brains: a review. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2022;49(1-2):1-24. DOI: <https://doi.org/10.1159/000520987>
19. Jaros R, Barnova K, Vilimkova Kahankova R, et al. Independent component analysis algorithms for non-invasive fetal electrocardiography. *PLoS ONE*. 2023;18(6):e0286858. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286858>
20. Volpe JJ. Placental assessment provides insight into mechanisms and timing of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy. *Journal of*

Neonatal-Perinatal Medicine. 2019;12(2):113-116.
DOI: <https://doi.org/10.3233/npm-190270>

21. Westby A, Miller L. Fetal Growth Restriction Before and After Birth. *American Family Physician*. 2021;104(5):486-492.

22. Knight MJ, Smith-Collins A, Newell S, et al. Cerebral white matter maturation patterns in preterm infants: an MRI T2 relaxation anisotropy and diffusion tensor imaging study. *Journal of Neuroimaging*. 2018;28(1):86-94. DOI: <https://doi.org/10.1111/jon.12486>

23. Neumane S, Gondova A, Leprince Y, et al. Early structural connectivity within the sensorimotor network: deviations related to prematurity and association to neurodevelopmental outcome. *Frontiers in Neuroscience*. 2022;16:932386. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.932386>

24. Arthuis C, Millischer AE, Bussieres L, et al. MRI based morphological examination of the placenta. *Placenta*. 2021;115:20-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2021.08.056>

25. Sinding M, Peters DA, Frokjaer JB, et al. Placental magnetic resonance imaging T2* measurements in normal pregnancies and in those complicated by fetal growth restriction. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2016;47(6):748-54. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.14917>

26. Hutter J, Ayman ALW, Kyriakopoulou V, et al. Exploring the role of a time-efficient MRI assessment of the placenta and fetal brain in uncomplicated pregnancies and these complicated by placental insufficiency. *Placenta*. 2023;139:25-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2023.05.014>

27. Hansen DN, Sinding M, Petersen A, et al. T2*-weighted placental magnetic resonance imaging: a biomarker of placental dysfunction in small-for-gestational-age pregnancies. *American Journal of Obstetrics & Gynecology* MFM. 2022;4(3):100578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2022>

28. Arthurs OJ, Rega A, Guimiot F, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the fetal brain in intrauterine growth restriction. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2017;50(1):79-87. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.17318>

29. Wilson S, Pietsch M, Cordero-Grande L, et al. Development of human white matter pathways in utero over the second and third trimester. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

2021;118(20):e2023598118. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2023598118>

30. Lipa M, Pooh RK, Wielgos M. Three-dimensional neurosonography - a novel field in fetal medicine. *Ginekologia Polska*. 2017;88(4):215-221. DOI: <https://doi.org/10.5603/GP.a2017.0041>

31. Yi F, Zhang C, Zou Y, et al. Three-Dimensional Crystal Vue Imaging technology assessment of Sylvian fissures at 20-32+6 weeks' normal gestation. *European Radiology*. 2023;33(4):2358-2366. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09253-w>

32. Yagel S. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. Part 1: performance of screening examination and indications for targeted neurosonography. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2021;57(1):173-174. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.23559>

33. Gilles F, Gressens P, Dammann O, et al. Hypoxia-ischemia is not an antecedent of most preterm brain damage: the illusion of validity. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2018;60(2):120-125. DOI: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13483>

34. Levison SW, Rocha-Ferreira E, Kim BH, et al. Mechanisms of tertiary neurodegeneration after neonatal hypoxic-ischemic brain damage. *Pediatric Medicine*. 2022;5:28. DOI: <https://doi.org/10.21037/pm-20-104>

35. Abdelkader MA, Ramadan W, Gabr AA, et al. Fetal intracranial hemorrhage: sonographic criteria and merits of prenatal diagnosis. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2017;30(18):2250-2256. DOI: <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1245283>

36. Epstein KN, Kline-Fath BM, Zhang B, et al. Prenatal evaluation of intracranial hemorrhage on fetal MRI: a retrospective review. *American Journal of Neuroradiology*. 2021;42(12):2222-2228. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7320>

37. Gupta V, Schlatterer SD, Bulas DI, et al. Pregnancy and child outcomes following fetal Intracranial hemorrhage. *Pediatric Neurology*. 2023;140:68-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2022.12.014>

38. Basso A, Youssef L, Nakaki A, et al. Fetal neurosonography at 31-35 weeks reveals altered cortical development in pre-eclampsia with and without small-for-gestational-age fetus.

Ultrasound in Obstetrics and Gynecology. 2022;59(6):737-746. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.24853>

39. Boutet ML, Eixarch E, Ahumada-Droguett P, et al. Fetal neurosonography and infant neurobehavior following conception by assisted reproductive technology with fresh or frozen embryo transfer. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2022;60(5):646-656. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.24920>

40. Paules C, Miranda J, Policiano C, et al. Fetal neurosonography detects differences in cortical development and corpus callosum in late-onset small fetuses. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2021;58(1):42-47. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.23592>

41. Miranda J, Paules C, Noell G, et al. Similarity network fusion to identify phenotypes of small-for-gestational-age fetuses. *IScience*. 2023;26(9):107620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107620>

42. Orzel A, Unrug-Bielawska K, Filipecka-Tyczka D, et al. Molecular Pathways of Altered Brain Development in Fetuses Exposed to Hypoxia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(12):10401. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241210401>

43. Sirico A, Diemert A, Glosemeyer P, et al. Prediction of adverse perinatal outcome by cerebroplacental ratio adjusted for estimated fetal weight. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2018;51(3):381-386. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.17458>

44. Ismail A, Ibrahim AL, Rabiou A, et al. Predictive value of doppler cerebroplacental ratio for adverse perinatal outcomes in postdate pregnancies in Northwestern Nigeria. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2022;25(4):406-414. DOI: https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_14_21

45. Rizzo G, Mappa I, Bitsadze V, et al. Role of Doppler ultrasound at time of diagnosis of late-onset fetal growth restriction in predicting adverse perinatal outcome: prospective cohort study. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2020;55(6):793-798. DOI: <https://doi.org/10.1002/uog.20406>

46. Akolekar R, Ciobanu A, Zingler E, et al. Routine assessment of cerebroplacental ratio at 35-37 weeks' gestation in the prediction of adverse perinatal outcome. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2019;221(1):65.e1-65.e18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.03.002>

47. Tudor A, Novac L, Camen IV, et al. The role of uterine artery doppler in the second and third trimesters for prediction of preeclampsia and fetal growth restriction developed as a consequence of placental-mediated diseases. *Current Health Sciences Journal*. 2023;49(2):251-256. DOI: <https://doi.org/10.12865/CHSJ.49.02.251>

48. Panova MS, Panchenko AS, Mudrov VA. New technologies for the diagnosis of hypoxic conditions in the term newborn. *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2023;(2):89-102. Russian. DOI: https://doi.org/10.52485/19986173_2023_2_89

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.
Поступила после доработки 22 февраля 2024 г.
Принята к печати 21 марта 2024 г.

Received 29 November 2023

Revised 22 February 2024

Accepted 21 March 2024

Информация об авторах

Татьяна Евгеньевна Белокриницкая, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой акушерства и гинекологии педиатрического факультета и факультета дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», г. Чита, Российская Федерация, E-mail: tanbell24@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-4223>.

Анастасия Геннадьевна Сидоркина, ассистент кафедры акушерства и гинекологии педиатрического факультета и факультета дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», г. Чита, Российская Федерация, E-mail: Anastasia-Sidorkina.17@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-0698>.

Виктор Андреевич Мудров, доктор медицинских наук, доцент, доцент кафедры акушерства и гинекологии педиатрического факультета и факультета дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», г. Чита, Российская Федерация, E-mail: mudrov_viktor@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>.

Information about the authors

Tatiana E. Belokrinitskaya, Doct. Sci. (Medicine), Professor, Head of the Department of

Obstetrics and Gynecology, Faculty of Pediatrics and Faculty of Further Professional Education, Chita State Medical Academy, Chita, Russia, E-mail: tanbell24@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-4223>.

Anastasia G. Sidorkina, Assistant Lecturer at the Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Pediatrics and Faculty of Further Professional Education, Chita State Medical Academy, Chita,

Russia, E-mail: Anastasia-Sidorkina.17@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-0698>.

Victor A. Mudrov, Doct. Sci. (Medicine), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Pediatrics and Faculty of Further Professional Education, Chita State Medical Academy, Chita, Russia, E-mail: mudrov_viktor@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>.