

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ МАССЫ ПЛОДАСыркашев Е.М.¹, Кан Н.Е.¹, Гус А.И.¹, Серова Н.С.²

1 - ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова» МЗ РФ. г. Москва, Россия.

2 - ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет). г. Москва, Россия.

Определение нормативных показателей размеров и предполагаемого веса плода – это один из ключевых моментов в оценке его развития и нормального течения беременности. При задержке внутриутробного развития, также как и при макросомии, значительно возрастает частота акушерских и неонатальных рисков. Предполагаемая масса плода (ПМП) является одним из основных факторов, которые влияют на тактику ведения беременности, сроков и способа родоразрешения. В настоящее время в акушерской практике применяются два основных подхода для определения ПМП: клинический и ультразвуковой. При этом точность данных методик в некоторых случаях достаточно ограничена. Магнитно-резонансная томография (МРТ) уже много лет используется в акушерстве в основном в качестве дополнительного исследования к УЗИ при врожденных аномалиях развития. При этом МРТ потенциально может быть использована в качестве наиболее точной модальности определения ПМП. Однако широкого применения ввиду доступности и стоимости исследования этот подход не нашел. В данном обзоре мы подробно описываем различные методы и формулы, обсуждаем применимость соответствующих подходов к конкретным группам наиболее высокого риска, а также представляем свое видение будущего МРТ в акушерской практике.

Ключевые слова: предполагаемая масса плода, пренатальная диагностика, фетальная МРТ, макросомия, задержка роста плода.

Контактный автор: Сыркашев Е.М., e-mail: egorsrkshv@mail.ru.

Для цитирования: Сыркашев Е.М., Кан Н.Е., Гус А.И., Серова Н.С. Возможности магнитно-резонансной томографии в определении предполагаемой массы плода. REJR 2024; 14(1):121-130. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-1-121-130.

Статья получена: 28.12.23

Статья принята: 27.02.24

POSSIBILITIES OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN FETAL WEIGHT ESTIMATIONSyrkashev E.M.¹, Kan N.E.¹, Gus A.I.¹, Serova N.S.²

1 - V.I. Kulakov National medical research center for obstetrics, gynecology and perinatology

2 - I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry (Sechenov University). Moscow, Russia.

Determining normal fetal size and weight is one of the key points in assessing its development and normal course of pregnancy. With intrauterine growth restriction, as well as with macrosomia, the frequency of obstetric and neonatal risks increases significantly. Estimated fetal weight is one of the main factors that affects pregnancy management, timing and method of delivery. Currently, in obstetric practice, two main approaches are used to determine fetal weight: clinical and ultrasound. However, the accuracy of these methods in some cases is quite limited. Magnetic resonance imaging (MRI) has been used in obstetrics for many years, mainly as an additional to ultrasound for congenital anomalies. MRI can potentially be used as the most

accurate modality for determining fetal weight. However, this modality has not found wide application due to the availability and cost. In this review, we describe in detail various methods and formulas, discuss the applicability of approaches to specific groups at highest risk and present our vision for the future of MRI in obstetric practice.

Keywords: estimated fetal weight, prenatal diagnosis, fetal MRI, macrosomia, fetal growth restriction.

Corresponding author: Syrkashev E.M., e-mail: egorsrkshv@mail.ru.

For citation: Syrkashev E.M., Kan N.E., Gus A.I., Serova N.S. Possibilities of magnetic resonance imaging in fetal weight estimation. REJR 2024; 14(1):121-130. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-1-121-130.

Received: 28.12.23

Accepted: 27.02.24

Определение нормативных показателей размеров и предполагаемого веса плода – это один из ключевых моментов в оценке его развития и нормального течения беременности. При задержке внутриутробного развития, также как и при макросомии, значительно возрастает частота акушерских и неонатальных рисков. Предполагаемая масса плода является одним из основных факторов, которые влияют на тактику ведения беременности, сроков и способа родоразрешения.

ния.

Впервые использование ультразвука в клинической медицине было выполнено более 60 лет назад акушером Яном Дональдом, что вскоре привело к внедрению УЗИ в рутинную акушерскую практику, в т.ч. в оценке предполагаемого веса плода. Изначально оценка веса проводилась на основании окружности живота плода, позже для повышения точности к данному показателю был добавлен бипариетальный размер. В отечественной литературе одной из первых является формула, разработанная под руководством В.Н. Демидова. В данной формуле учитываются размеры головки плода, диаметр живота, поперечный размер сердца и длина бедренной кости. Формула Hadlock et al., основанная на окружности головы и живота, бипариетальном диаметре и длине бедренной кости, была разработана в 1984-1985 гг. и продемонстрировала наиболее высокие показатели точности оценки массы плода [1]. В течение следующих десятилетий было разработано достаточно большое количество иных подходов, тем не менее, алгоритм, который включает четыре вышеописанных показателя до сих пор остается наиболее точным предиктором массы по данным УЗИ, в том числе при определении малых и крупных плодов к сроку гестации [2] (рис. 1).

Основной целью определения веса плода является детекция крайних значений, поскольку по данным множества работ показано, что именно эти группы подвержены наиболее высоким рискам развития неблагоприятных перинатальных исходов. Не менее важным является оценка дискордантного веса при многоплодной беременности: даже относительно небольшая разница в массе тела при рождении либо выборочное ограничение роста, особенно при монохориальной двойне, имеет значительное влияние на пе-

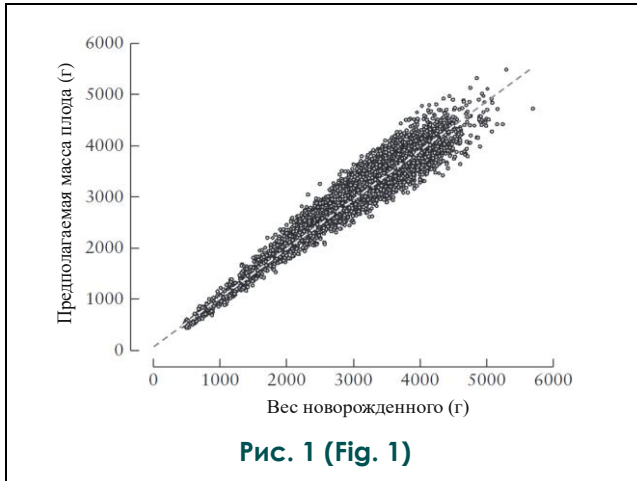


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Диаграмма.

Зависимость между массой тела при рождении и предполагаемой массой плода (по данным Hadlock et al с использованием измерений окружности головы, живота и длины бедра) ($r=0,959$; $p<0,0001$) [2].

Fig. 1. Diagram.

Relationship between birth weight and estimated fetal weight (based on Hadlock et al using measurements of head circumference, abdominal circumference and thigh length) ($r=0.959$; $p<0.0001$) [2].

ринатальную заболеваемость и смертность [3]. Наименьшая средняя абсолютная ошибка по сравнению с фактической массой тела при рождении по данным различных формул для 2D УЗИ составляет 8,24% для одноплодной и 11,11% для многоплодной беременности [4]. Поэтому в некоторых работах для повышения точности предикции веса рассматривалось трехмерное УЗИ с использованием объема верхней конечности либо многофакторного подхода с поправкой на фетометрию плода и различные материнские факторы (например, сахарный диабет I типа, вес, рост, прибавка в весе и т.д.) [5].

В проспективном исследовании Lee et al. были разработаны формулы, учитывающие бипареитальный размер, окружность живота, объем верхних и нижних конечностей. По сравнению со стандартным УЗИ (2D) данный подход показал увеличение точности предикции крупных плодов к сроку гестации (ПМП > 4000 г) с 5,8% до 8,3% [6]. Однако, при проведении дальнейших исследований данная методика подобных преимуществ не продемонстрировала [7].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одним из современных перспективных методов лучевой диагностики, который обеспечивает высокий естественный контраст мягких тканей, точную визуализацию анатомических особенностей, неинвазивность и отсутствие ионизирующего излучения, что позволяет использовать данную методику для изучения широкого спектра различной патологии матери и плода. Ранее применение МРТ в акушерстве ограничивалось длительностью исследования, сопровождающегося выраженными артефактами на изображениях от движений плода. С появлением «быстрых» импульсных последовательностей (HASTE, FIESTA, FASE, SSFSE и др.) МРТ приобретает все большее значение в пренатальной диагностике.

Потенциальные риски проведения МРТ.

Основные риски (или побочные эффекты) при проведении МРТ связаны, прежде всего, с потенциальным тератогенным воздействием (I триместр беременности), нагревом тканей и акустическим шумом (независимо от срока гестации). Однако следует отметить, что на сегодняшний день не существует литературных данных о специфических последствиях при проведении бесконтрастной МРТ в любом триместре беременности [8], при этом проведение исследования в I триместре не рекомендовано (за исключением исследований по жизненным показаниям, связанных с состоянием здоровья ма-

тери, например, аномалии положения плодного яйца, вращение хориона и т.д. – в таких случаях более предпочтительно выполнение МРТ с индукцией магнитного поля 1,5 Т). Считается, что повышение температуры плода более чем на 20 С имеет тератогенный эффект [9], поэтому МРТ плода следует выполнять в обычном режиме с $УКП \leq 2$ Вт/кг (удельный коэффициент поглощения всего тела), что не приводит к изменению температуры более, чем на 0,50 С. Для этого перед исследованием рекомендуется точно измерять рост и вес беременной. Доказательная база о наличии долгосрочных последствий влияния МРТ с индукцией магнитного поля менее 3 Т на органы слуха плода в течение II и III триместра беременности в настоящее время отсутствует [10].

Одним из основных аргументов против выполнения МРТ является стоимость процедуры и доступность оборудования. Тем не менее, очевидно, что сравнивать УЗИ и МРТ напрямую довольно сложно, так как каждый из методов имеет свои уникальные преимущества и недостатки. Но с точки зрения стоимости МРТ уступает эквивалентному ультразвуковому исследованию. Длительность МР-сканирования в большинстве случаев в зависимости от целей и задач исследования ограничивается 30 минутами, а для определения объема плода требуется не более 7 минут [11]. Сокращение времени сканирования потенциально позволит снизить стоимость исследования и таким образом увеличить его доступность.

Обзор литературы.

Впервые определение предполагаемого веса плода по данным МРТ было выполнено в 1994 году: Baker et al. опубликовали результаты измерения массы 11 плодов на 36-41 неделях гестации [12]. Относительная погрешность предполагаемого веса относительно фактической массы по данным МРТ составила 3,0%, по данным УЗИ – 6,5%. Для вычисления ПМП использовали формулу, позволяющую определять массу из объема плода. Все исследования были выполнены на томографе с индукцией магнитного поля 0,5 Т и толщиной среза 1 см. Схожая относительная погрешность ПМП ($\leq 3\%$) была получена в другом исследовании на выборке из 22 пациентов [13]. Первое относительно крупное проспективное исследование было выполнено в 2003 году группой авторов из США [14]. В исследование включили 78 плодов, которым была выполнена МРТ, затем УЗИ с оценкой ПМП. После оценки веса в течение 1 часа выполнялось плановое кесарево сечение. Относительная погрешность

ПМП составила 3,7% для МРТ и 6,3% для УЗИ, что подтверждает результаты ранее выполненных исследований.

В 2013 году было выполнено проспективное исследование, в которое включили 188 плодов на сроке гестации 20-42 недель [15]. Аномалии плода наблюдались в 16 (8,5%) из 188 случаев. При этом регрессионный анализ показал, что наличие мальформаций не влияет на плотность плода и модель прогнозирования веса (с перерасчетом объема на массу). Оценка предполагаемой массы остальных 172 плодов была проведена на здоровых добровольцах. Процентная ошибка МРТ по сравнению с фактическим весом при рождении составила в среднем 2,6%. Одним из наиболее важных результатов данной работы является то, что «плотность плода» (отношение его массы к объему) может меняться в зависимости от срока беременности, при этом существенно не различаясь между плодами с гестационным сахарным диабетом (ГСД), с задержкой внутриутробного развития и плодами без ГСД. При этом авторы полагают, что для подтверждения данного феномена и разработки иных формул вычисления ПМП в группе с ГСД необходимо значительно большее количество соответствующих случаев.

В 2016 году Kadji et al. разработали полуавтоматический метод определения объема плода [11]. Авторы показали, что использование дополнительного программного обеспечения позволяет вычислять объем плода менее чем за 5 минут, в отличие от 30 минут при использовании стандартного ручного метода с выделением зон интереса на каждом из срезов. При этом ускорение данного процесса не влияет на точность определения предполагаемой массы плода и имеет высокую воспроизводимость. В другом исследовании было показано, что использование различных проекций (фронтальной, сагиттальной или аксиальной) и толщины срезов (4 мм или 6 мм с расстоянием между срезами 0 мм и 4 мм) не оказывает значительного влияния на точность определения ПМП и требует достаточно вариабельное время на ее вычисление [16]. При этом согласованность заключений разных и одного и того же исследователя при вычислении объема плода полуавтоматическим методом является крайне высокой с внутриклассовым коэффициентом корреляции 0,98 и 0,99 соответственно [17]. Для сравнения внутриклассовый коэффициент корреляции при вычислении объема тела плода стандартным методом составляет 0,99 [18]. В другом исследовании, выполненном в 2018 году, оценивали частоту определения

малых и крупных плодов к сроку гестации с использованием полуавтоматического метода определения ПМП [19]. Частота обнаружения крупных к сроку гестации плодов ≥ 95 процентиля (при частоте ложноположительных результатов 10%) в пределах 48 часов до родоразрешения составила 98% при использовании МРТ по сравнению с 67% при использовании УЗИ. В 83 случаях для предикции ПМП ≥ 95 процентиля вычисления проводили в пределах 3 недель до рождения. Частота определения по данным МРТ составила 78%, по данным УЗИ – 67%. Точность определения малых плодов к сроку гестации с ПМП ≤ 10 процентиля (при частоте ложноположительных результатов 10%) с использованием МРТ составила 100% (95% доверительный интервал [ДИ], 82–100; 18 из 18), по сравнению с 78% (95% ДИ, 52–94; 14 из 18) при выполнении УЗИ [19]. Кроме того, было показано, что при многоплодной беременности МРТ также демонстрирует более точные результаты с одинаковой точностью определения предполагаемой массы, сравнимой с таковой при одноплодной беременности [20].

Способы определения объемов по данным МРТ.

Для оценки предполагаемой массы плода по данным МРТ первым этапом является вычисление его объема. Обычно это выполняется путем выделения зон интереса на каждом из полученных срезов в сагиттальной, фронтальной или аксиальной плоскости и суммирования выделенных областей (рис. 2). Это достаточно трудоемкая процедура, которая в зависимости от размеров плода может занимать в среднем до 45 минут. При этом существует дополнительное программное обеспечение, обеспечивающее полуавтоматическую сегментацию плода [11], [21], [22]. Некоторые из программ автоматически находят воксели, которые потенциально представляют кожу и подкожную жировую клетчатку плода. При выборе точек на уровне кожи плода программа автоматически достраивает нужные пиксели и добавляет дополнительные точки на уровне других отделов. В случае неверного выделения, на каждом из срезов, необходимые зоны интереса могут быть откорректированы вручную.

В другом исследовании коллеги из Норвегии разработали алгоритм с использованием искусственного интеллекта, позволяющий в автоматическом режиме рассчитывать объем плацентарной ткани и плода по данным МРТ [24]. В качестве входных данных для нейронной сети DenseVNet использовались 193 плода на сроке гестации 27 и 37 недель. 163 случая были использованы для

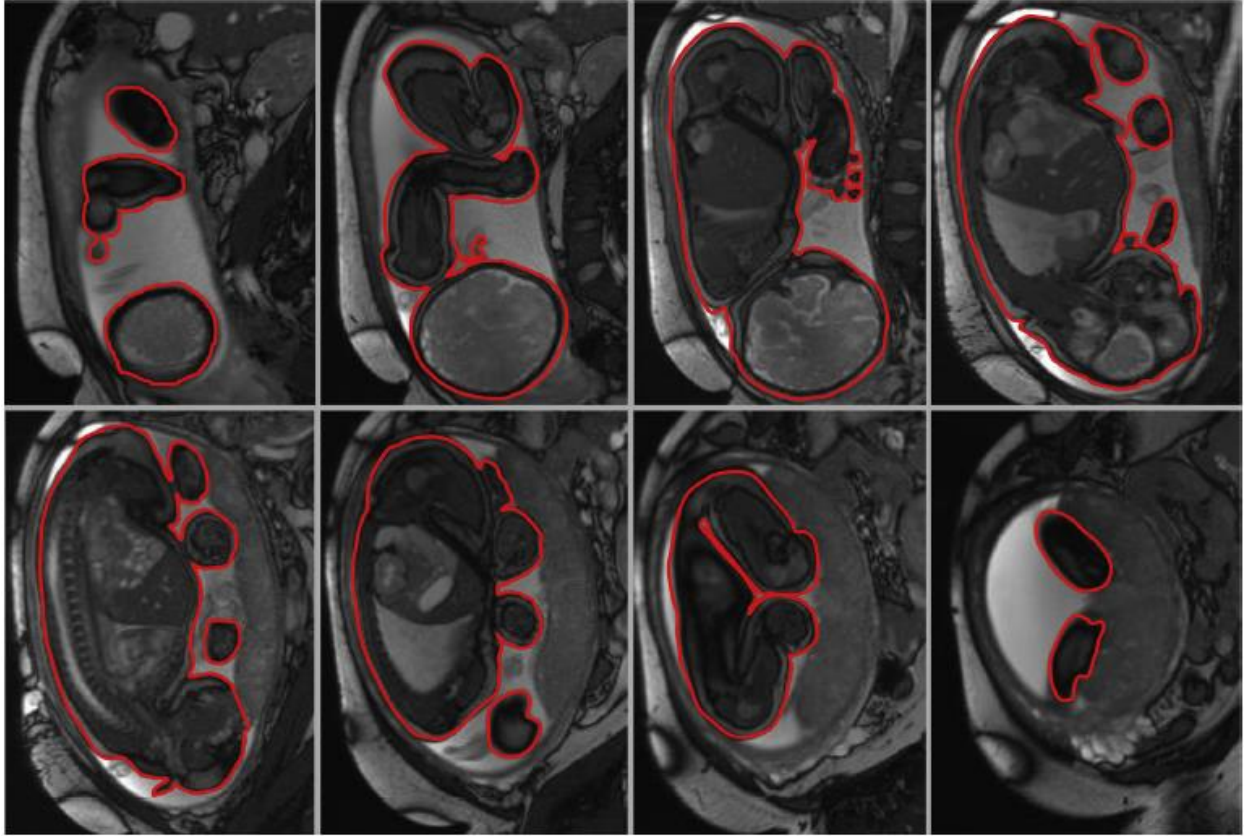


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. МРТ, сагиттальная плоскость, T2-взвешенные изображения [23].

Одноплодная беременность на сроке 36 недель 6 дней, толщина среза 4 мм и расстояние между срезами 20 мм. Пример выделения зон интереса на уровне тела и конечностей плода.

Fig. 2. MRI, sagittal plane, T2-weighted images [23].

Singleton pregnancy at 36 weeks 6 days, slice thickness 4 mm and distance between slices 20 mm. An example of identifying areas of interest at the level of the body and limbs of the fetus.

обучения, 10 – для проверки и 20 – для тестирования. Сегментации, выполненные нейронными сетями, сравнивались с аналогичными данными, выполненными вручную, с использованием коэффициента Дайса. Наилучшая модель была получена после 22000 итераций обучения со средним коэффициентом Дайса – 0,925 (SD=0,041), а время, затрачиваемое на оценку объемов, сократилось с 60-90 минут при ручном выделении зон интереса до менее, чем 10 секунд с использованием нейросетей.

Формулы для оценки ПМП по данным МРТ.

Первая формула для оценки ПМП по данным МРТ была разработана Baker et al. на 11 плодах [12]. Объем тела плода (ОТП) выражается в литрах: $ПМП (кг) = 1,031 \times ОТП (\lambda) + 0,12$.

Одной из сложностей, связанных с

определением ПМП, является определение корректной взаимосвязи между объемом плода и его весом. Напрямую экстраполировать вес плода на его объем невозможно, т.к. плотность в данном контексте зависит от таких факторов, как содержание жира, воды, мышечной и костной ткани. Результаты, полученные при допущении, что средний коэффициент плотности ткани плода составляет 1,0 г/см³, занижают ПМП на доношенном сроке беременности, а уравнения, разработанные на плодах на доношенном сроке, могут приводить к ошибке при обследовании плодов во втором триместре беременности, поскольку соотношение тканей может различаться [25]. По этой причине была разработана иная формула (Kasem et al.) на серии из 188 плодов, которая может быть использована на плодах различного срока беременности [15]: $ПМП (г) = 1,2083 \times ОТП (мл)^{0,9815}$.

Данное уравнение было использовано для оценки ПМП на доношенном ($n=107$) и недоношенном сроке беременности ($n=83$), также был проведен сравнительный анализ с формулой, разработанной Baker et al. для предикции ПМП ≥ 95 перцентилей для соответствующего срока беременности. 9 из 83 недоношенных новорожденных оказались крупными к сроку гестации. Площадь под кривой (ROC AUC) для формулы Baker et al. составила 0,968 (95% ДИ, 0,905–0,994), что значительно не отличалось от соответствующих данных, полученных по формуле Kasem et al. – 0,970 (95% ДИ, 0,907–0,995). Среди доношенных новорожденных 13 из 107 оказались крупными к сроку гестации. Площадь под кривой (ROC AUC) для формулы Baker et al. составила 0,983 (95% ДИ, 0,937–0,998), что также практически не отличалось от данных, полученных по формуле Kasem et al. – 0,983 (95% ДИ, 0,937–0,998; разница между ROC AUC $<0,001$). Исходя из этих данных, авторы сделали вывод, что использование формулы, отличной от Baker et al., не представляется целесообразным. В другой работе показано, что использование формул Baker et al. и Kasem et al. во втором триместре беременности (20–26 недель гестации) позволяет оценить ПМП со средней абсолютной ошибкой –13,7% (–159,0 г, 95% ДИ: от –341,7 г до 23,7 г) и 17,1% (–204,6 г, 95% ДИ: –380,4 г до –28,8 г) соответственно. А средняя абсолютная ошибка при определении ПМП по данным УЗИ на той же группе составила 5,3% (69,8 г, 95% ДИ: от –34,3 г до 173,9 г). Следовательно, по мнению авторов данной работы, определение ПМП во втором триместре беременности требует разработку иных формул, отличных от Kasem et al. и Baker et al. [26].

Определение крупновесных плодов.

Крупновесный к сроку гестации – это плод с ПМП более 90 перцентилей для данного срока беременности. В случаях, когда масса новорожденного превышает 4000 г большинство авторов использует термин фетальная макросомия. Частота встречаемости макросомии составляет 10% от всех беременностей, из них 15–45% случаев приходится на женщин, страдающих сахарным диабетом [27].

В отличие от УЗИ, по данным МРТ предполагаемая масса оценивается путем вычисления объема тела плода, а не отдельных его структур, таких как размеры головы, живота или длина бедренной или плечевой костей. Преимуществом данного подхода является возможность не только более точной оценки объемных характеристик плода (без

использования формул перерасчета длины и окружности интересующей зоны), но и учет возможного асимметричного диспропорционального роста. У беременных с ГСД риск развития диабетической фетопатии с избыточным отложением жировой клетчатки в верхних отделах туловища плода и увеличением окружности плечевого пояса значительно увеличен. Данный феномен способствует затрудненному прохождению плода через родовые пути, развитию дистонии плечиков и, в некоторых случаях, гибели плода. Накопление избыточного количества жировой клетчатки может изменить плотность плода, что потенциально влияет на методы оценки предполагаемой массы. Возможно, в таких случаях необходима иная формула определения веса, специфичная для группы с ГСД.

В исследовании, проведенном Kadji et al., сравнили среднюю плотность 82 плодов от беременных с гестационным сахарным диабетом с аналогичными данными, полученными от 254 плодов с беременностью без ГСД. Средняя плотность плода в диабетической группе составила 1,030 г/мл, что значительно не отличалось от группы без ГСД – 1,035 г/мл. Значительной разницы между плодами с ГСД и ПМП ≥ 95 ($n=10$), плодами с ГСД и ПМП <95 ($n=72$), плодами без ГСД и ПМП ≤ 95 ($n=20$), плодами без ГСД и ПМП <95 ($n=234$) выявлено не было. Крупной доказательной базы о целесообразности использования дополнительной формулы определения ПМП, специализированной на группе с ГСД, на данный момент не существует.

В 2022 году было опубликовано проспективное одноцентровое слепое исследование, в которое включили 2378 женщин с одноплодной беременностью на 37 неделе гестации [23]. На первом этапе пациенткам было выполнено трансбдоминальное УЗИ с определением веса плода по формуле Hadlock et al. Через 15 минут после этого проводили МРТ с определением объема тела плода и расчетом веса по формуле Baker et al. Среди критериев исключения следует выделить многоплодную беременность и аномалии развития плода. Одними из основных результатов статьи, по мнению авторов, являются показатели площади под кривой (ROC AUC) в прогнозировании крупновесных плодов по данным УЗИ и МРТ, где соответствующие цифры для МРТ были выше. Наибольшая разница наблюдалась при прогнозировании крупновесных плодов более 90 перцентилей: 0,961 (0,952–0,968) при выполнении МРТ и 0,888 (0,875–0,900) при выполнении УЗИ. Далее авторы продемонстрировали, что

про фиксированной частоте ложноположительных результатов, равной 5%, МРТ в 80% случаев определяет плоды более 95 процента по весу, тогда как УЗИ определяет данное состояние только в 59% случаев. Также была проанализирована частота акушерской и неонатальной патологии в группах сравнения. В группах, где по данным МРТ и УЗИ прогнозировались крупновесные плоды с ПМП > 95% чаще наблюдалась дистоция плечиков и выполнение кесарева сечения. Но в отличие от группы с крупновесными плодами по данным УЗИ, в соответствующей группе с МРТ чаще наблюдались такие осложнения, как перевод новорожденного в реанимацию, менее 7 баллов по шкале Апгар на 5-й минуте и послеродовые кровотечения. Среди преимуществ данного исследования следует выделить крупную выборку пациентов, которым выполнено УЗИ и МРТ в течение крайне ограниченного промежутка времени (15 минут), результаты оценки веса плода по данным МРТ не сообщались пациентам и лечащим врачам, а определение ПМП на 37 неделе гестации позволяет провести динамическое наблюдение либо коррекцию тактики ведения беременности.

Определение ПМП при многоплодной беременности.

Сравнительный анализ определения точности ПМП по данным УЗИ и МРТ при беременности двойней был выполнен в 2018 году [20]. В исследование включили 66 плодов на сроке гестации 34-39 недель. Оценка ПМП была произведена в пределах 48 часов до родоразрешения. Относительная погрешность измерения ПМП для УЗИ составила 6,8%, для МРТ – 3,2%. При оценке ПМП по данным УЗИ в 37,9% случаев наблюдался разброс $\pm 10\%$ относительно актуального веса при рождении, при МРТ данный разброс наблюдался только в 6,1% случаев. Из 66 новорожденных 27 (40,9%) были с весом ≤ 10 процентиль и 21 (31,8%) ≤ 5 процентиль. Площадь под кривой (ROC AUC) при определении ПМП ≤ 10 по данным УЗИ составила 0,895, по данным МРТ – 0,946. Кроме того, дискордантность по весу по данным МРТ коррелировала с актуальным весом сильнее, чем по данным УЗИ.

Задержка внутриутробного развития плода.

Среди причин перинатальной и неонатальной смертности существенное место занимает задержка внутриутробного развития плода (ЗРП) – состояния, при котором плод не реализует свой потенциал роста. ЗРП встречается с частотой 5-10% всех беременностей и является причиной 30-50% случаев

мертворождений [28]. Своевременное определение задержки роста плода позволяет значительно снизить частоту антенатальной гибели и неонатальных осложнений.

«Золотого» стандарта диагностики ЗРП не существует. При этом размеры и масса плода – это один из ключевых признаков данного состояния. В целом, чем меньше размеры плода (окружность живота, ОЖ) или новорожденного, тем выше частота ЗРП и неблагоприятных исходов. Антенатальный скрининг ЗРП основан на определении ОЖ и/или ПМП < 10 процентилей. В случаях ОЖ и/или ПМП < 3 процентилей в независимости от показателей кровотока по данным УЗ-доплерографии выставляется диагноз ЗРП. Следовательно, изолированно малый размер плода не всегда позволяет разграничить состояния, при которых он конституционально мал, но здоров и имеет низкие риски перинатальных и неонатальных осложнений, и ситуации, в которых наблюдается недостаточный рост на фоне плацентарных нарушений с высокой вероятностью развития гипоксии и антенатальной гибели плода (рис. 3) [29].

Среди методов наблюдения за группой риска можно выделить кардиотокографию, доплерографию, а также биофизический профиль плода. При этом единого мнения о наилучшем способе ведения ЗРП либо критериях, подходящих в качестве триггера к родоразрешению, не существует. На пределе жизнеспособности, между 23-25 неделями гестации, ПМП становится одним из наиболее важных факторов, который влияет на принятие решений о назначении кортикостероидов, способе родоразрешения, а также активном участии неонатальной реанимационной бригады в родзале. С учетом того, что при эхографии присутствуют зоны затрудненной визуализации, метод считается достаточно операторозависимым, имеются сложности при мало- или многоводии или «неудобном» положении плода, необходимы дополнительные методики определения ПМП. С учетом существующих наработок в данной области и потенциальными возможностями МРТ с использованием объемных характеристик и функциональных методик, указанная модальность может стать важным дополнительным компонентом полноценного антенатального обследования, которое на данный момент включает фетоплацентарную доплерографию, фетометрию и измерение количества амниотической жидкости.

Заключение.

МРТ плода – это современный метод диагностики широкого спектра пренаталь-

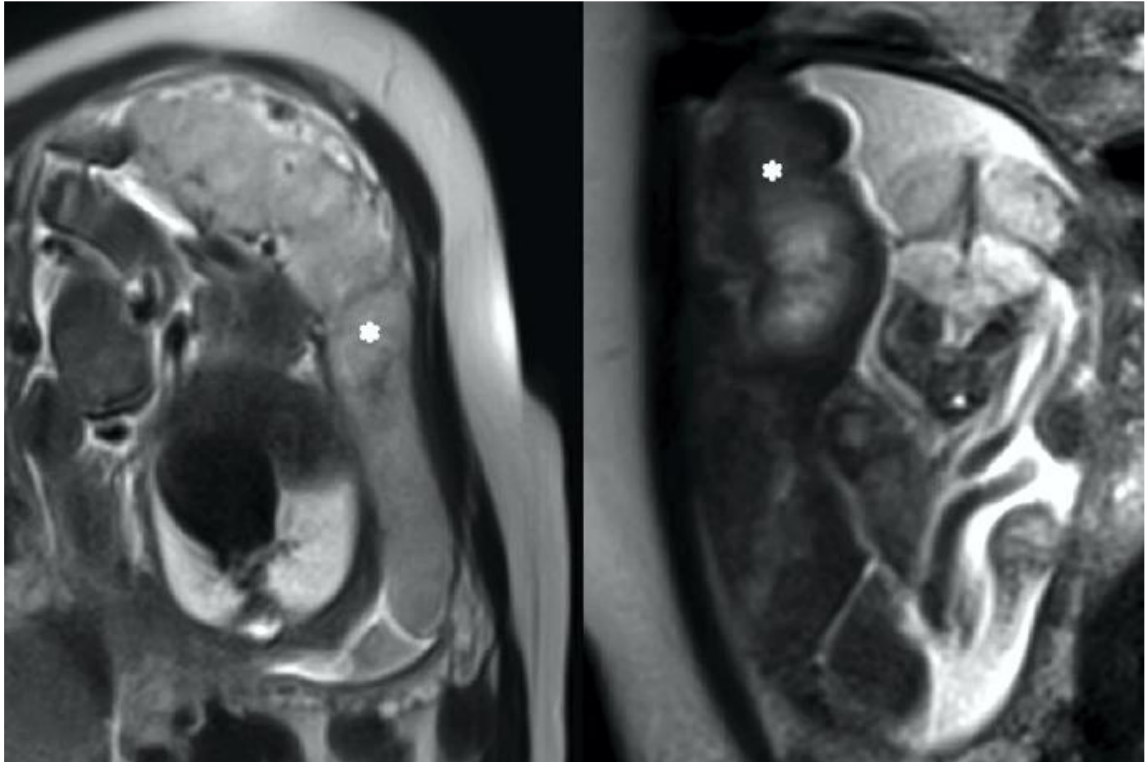


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. МРТ, T2-взвешенные изображения [30].

Звездочкой обозначены нормальная плацента (слева) и плацента с ЗРП (справа). Нормальная плацента имеет более высокий и однородный сигнал на T2-ВИ.

Fig. 3. MRI, T2-weighted images [30].

The asterisk indicates normal placenta (left) and a placenta with fetal growth restriction (FGR) (right). A normal placenta has a higher and more homogeneous signal on T2-weighted images.

ной патологии, необходимый для специфической характеристики выявленных по данным УЗИ изменений, описания анатомических особенностей или сочетанных аномалий развития. При этом потенциал данного метода выходит далеко за рамки этого довольно узкого применения. В настоящее время активно применяется МР-пельвиметрия, которая по точности измерения размеров таза не уступает иным модальностям, вместе с тем позволяя проводить фетометрию. Применение функциональной МРТ открывает новые возможности в диагностике различной патологии, в том числе в системе мать-плацента-плод. Ограничения относительно стоимости процедуры и времени сканирования, которые ранее были препятствиями для развития данной методики в акушерстве уходят на второй план. Сокращение времени сканирования потенциально позволит снизить стоимость исследования и таким образом увеличить его доступность.

МРТ позволяет получать изображения с высоким естественным контрастом мягких тканей в любой проекции с определением предполагаемой массы, основных линейных и волюметрических показателей плода и таза матери. Автоматизация определения ПМП и трехмерной реконструкции тазовых костей с определением его ключевых размеров с помощью сервисов, работающих на основе алгоритмов машинного обучения, позволит ускорить процесс постановки диагноза и сделать его более точным, провести стандартизацию и отработку методики, что, в свою очередь, снизит интер- и интраобсервационную вариабельность.

Недооценка предполагаемого веса при макросомии либо переоценка при задержке внутриутробного развития плода приводит к повышению частоты родового травматизма, перинатальной заболеваемости и смертности, поэтому необходимо дальнейшее изучение возможностей МРТ с использованием функ-

циональных методик и волюметрических показателей в диагностике данных состояний. Повышение точности определения предполагаемой массы плода как одного из факторов, влияющих на сроки и способ родоразрешения, является одной из приоритетных задач современной медицины, решение которой позволит уменьшить частоту акушерских и

неонатальных осложнений.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

References:

[1] Hadlock F. P., R. B. Harrist, R. S. Sharman, R. L. Deter, and S. K. Park. Estimation of fetal weight with the use of head, body, and femur measurements—a prospective study. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1985; 151 (3): 333-337 doi: 10.1016/0002-9378(85)90298-4.

[2] Hammami A., A. Mazer Zumaeta, A. Syngelaki, R. Akolekar, and K. H. Nicolaidis, Ultrasonographic estimation of fetal weight: development of new model and assessment of performance of previous models. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2018; 52 (1): 35-43, Jul., doi: 10.1002/uog.19066.

[3] Kostyukov K. K. V., I. O. V. Ionov, and S. M. N. Shakaya. Perinatal outcomes of twin pregnancies with birth weight discordance. *Akush. Ginekol. (Sofia)*. 2020; 5: 78-84 doi: 10.18565/aig.2020.5.78-84.

[4] Khalil A., F. D'Antonio, T. Dias, D. Cooper, and B. Thilaganathan. Ultrasound estimation of birth weight in twin pregnancy: comparison of biometry algorithms in the STORK multiple pregnancy cohort. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2014; 44 (2): 210-220 doi: 10.1002/uog.13253.

[5] Frick A. P., A. Syngelaki, M. Zheng, L. C. Poon, and K. H. Nicolaidis. Prediction of large-for-gestational-age neonates: screening by maternal factors and biomarkers in the three trimesters of pregnancy. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2016; 47 (3): 332-339 doi: 10.1002/uog.15780.

[6] Lee W. et al. New fetal weight estimation models using fractional limb volume. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (5): 556-565. doi: 10.1002/uog.7327.

[7] Mlodawski J., D. Wolder, P. Niziurski, O. Adamczyk-Gruszka, S. Gluszek, and W. Rokita. Birth weight prediction by Lee formula based on fractional thigh volume in term pregnancies - is it helpful? *Arch. Med. Sci.* 2022; 18 (1): 79-83 doi: 10.5114/aoms.2020.92711.

[8] Jabehdar Maralani P. et al. Canadian Association of Radiologists Recommendations for the Safe Use of MRI During Pregnancy. *Can. Assoc. Radiol. J.* 2022; 73 (1): 56-67 doi: 10.1177/084653712111015657.

[9] Ziskin M. C. and J. Morrissey. Thermal thresholds for teratogenicity, reproduction, and development. *Int. J. Hyperth. Off. J. Eur. Soc. Hyperthermic Oncol. North Am. Hyperth. Gr.* 2011; 27 (4): 374-387, doi: 10.3109/02656736.2011.553769.

[10] Prayer D. et al. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2023; 61 (2): 278-287 doi: 10.1002/uog.26129.

[11] Kadji C. et al. The Use of a Software-Assisted Method to Estimate Fetal Weight at and Near Term Using Magnetic Resonance Imaging. *Fetal Diagn. Ther.* 2017; 41 (4): 307-313 doi: 10.1159/000448950.

[12] Baker P. N. et al. Fetal weight estimation by echo-planar magnetic resonance imaging. *Lancet.* 1994; 343 (8898): 644-645 doi: 10.1016/S0140-6736(94)92638-7.

[13] Kubik-Huch R. A. et al. Fetus and Uteroplacental Unit: Fast MR Imaging with Three-dimensional Reconstruction and Volumetry - Feasibility Study. *Radiology.* 2001; 219 (2): 567-573 doi: 10.1148/radiology.219.2.r01ma24567.

[14] Zaretsky M. V., T. F. Reichel, D. D. McIntire, and D. M. Twickler. Comparison of magnetic resonance imaging to ultrasound in the estimation of birth weight at term. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2003; 189 (4): 1017-1020, Oct. 2003, doi: 10.1067/s0002-9378(03)00895-0.

[15] Kacem Y. et al. Fetal Weight Estimation: Comparison of Two-dimensional US and MR Imaging Assessments. *Radiology.* 2013; 267 (3): 902-910 doi: 10.1148/radiol.12121374.

[16] Zito L. Lo et al. Determination of fetal body volume measurement at term with magnetic resonance imaging: Effect of various factors. *J. Matern. Neonatal Med.* 2013; 26 (12): 1254-1258, 2013, doi: 10.3109/14767058.2013.776537.

[17] Kadji C., M. F. Camus, E. Bevilacqua, M. M. Cannie, T. C. Sanchez, and J. C. Jani. Repeatability of estimated fetal weight: Comparison between MR imaging versus 2D ultrasound in at- and near-term patients. *Eur. J. Radiol.* 2017; 91: 35-40 doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.03.005>.

[18] Cannie M. et al. Fetal body volume: use at MR imaging to quantify relative lung volume in fetuses suspected of having pulmonary hypoplasia. *Radiology.* 2006; 241 (3): 847-853 doi: 10.1148/radiol.2413051228.

[19] Kadji C. et al. Prenatal prediction of postnatal large-for-dates neonates using a simplified MRI method: comparison with conventional 2D ultrasound estimates. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2018; 52 (2): 250-257 doi: 10.1002/uog.17523.

[20] Kadji C., E. Bevilacqua, I. Hurtado, A. Carlín, M. M. Cannie, and J. C. Jani. Comparison of conventional 2D ultrasound to magnetic resonance imaging for prenatal estimation of birthweight in twin pregnancy. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2018; 218 (1): 128.e1-128.e11 doi: 10.1016/j.ajog.2017.10.009.

[21] Bruns N. 3D Slicer: Universal 3D visualization software. *Unfallchirurg.* 2019; 122 (8): 662-663. doi: 10.1007/s00113-019-0654-4.

[22] You Y. et al. Three-dimensional printing and 3D slicer

- powerful tools in understanding and treating neurosurgical diseases. *Front. Surg.* 2022; 9: 1030081, doi: 10.3389/fsurg.2022.1030081.
- [23] Kadji C. et al. Fetal magnetic resonance imaging at 36 weeks predicts neonatal macrosomia: the PREMACRO study. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2022; 226 (2): 238.e1-238.e12. doi: 10.1016/j.ajog.2021.08.001.
- [24] Kulseng C. P. S., V. Hillestad, A. Eskild, and K. I. Gjerdal. Automatic placental and fetal volume estimation by a convolutional neural network. *Placenta.* 2023; 134: 23-29 doi: 10.1016/j.placenta.2023.02.009.
- [25] Levine D. Three-dimensional fetal MR imaging: Will it fulfill its promise? *Radiology.* 2001; 219 (2): 313-315 doi: 10.1148/radiology.219.2.r01ma46313.
- [26] Matthew J. et al. MRI-Derived Fetal Weight Estimation in the Midpregnancy Fetus: A Method Comparison Study. *Fetal Diagn. Ther.* 2021; 48 (10): 708-719 doi: 10.1159/000519115.
- [27] Macrosomia: ACOG Practice Bulletin, Number 216. *Obstet. Gynecol.* 2020; 135 (1): e18-e35 doi: 10.1097/AOG.0000000000003606.
- [28] Figueras F. et al. Revealed versus concealed criteria for placental insufficiency in an unselected obstetric population in late pregnancy (RATIO37): randomised controlled trial study protocol. *BMJ Open.* 2017; 7 (6): e014835 doi: 10.1136/bmjopen-2016-014835.
- [29] Kamphof H. D., S. Posthuma, S. J. Gordijn, and W. Ganzevoort. Fetal Growth Restriction: Mechanisms, Epidemiology, and Management. *Matern. Med.* 2022; 4 (3): 186-196 doi: 10.1097/FM9.000000000000161.
- [30] Aughwane R., E. Ingram, E. D. Johnstone, L. J. Salomon, A. L. David, and A. Melbourne. Placental MRI and its application to fetal intervention. *Prenat. Diagn.* 2020; 40 (1): 38-48 doi: 10.1002/pd.5526.