

ОЦЕНКА НОРМАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СИГНАЛА И ОБЪЕМА ЛЕГКИХ ПЛОДА ПО ДАННЫМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Сыркашев Е.М., Солопова А.Е., Быченко В.Г., Буров А.А., Гус А.И.

Цель исследования. Оценить корреляцию между интенсивностью МР-сигнала на T2-ВИ от легких плода, объемом легких и сроком беременности, а также определить воспроизводимость применяемых методик и достоверность заключений внутри и между обозревателями.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование были включены 34 плода на сроке беременности от 18 до 40 недель. В первую группу включили 23 плода, которым проводилась МРТ по поводу патологии, не затрагивающей состояние легких. Во вторую группу включено 11 плодов с врожденной диафрагмальной грыжей с неудовлетворительным прогнозом по данным эхографии.

Результаты. Среди плодов без гипоплазии легких среднее значение ИСПА/ИСП (интенсивность сигнала правого легкого/интенсивность сигнала печени) составило 2,348 (1,535-3,706), среднее значение объема легких составило 51,156 см³ (8,99-111,48). Аналогичные значения среди плодов с легочной гипоплазией: ИСПА/ИСП – 2,082 (1,396-3,130), объем легких – 15,49 см³ (4,64-25,5). У плодов с нормальной функцией легких статистический анализ выявил положительную корреляцию между гестационным возрастом и ИСПА/ИСП ($r=0,741$, $p=0,001$), между гестационным возрастом и объемом легких ($r=0,936$, $p<0,001$), а также ИСПА/ИСП и объемом легких ($r=0,732$, $p=0,001$). Внутрикласовый коэффициент корреляции для определения достоверности заключений внутри и между обозревателями в 1 группе составил 0,83 и 0,81 при вычислении отношения ИС правого легкого на ИС печени, 0,89 и 0,85 при вычислении объема легких, во 2 группе – 0,80 и 0,79 при вычислении отношения ИС правого легкого на ИС печени, 0,87 и 0,85 при вычислении объема легких.

Выводы. Полученные данные позволяют использовать показатели объема легких и ИСПА/ИСП плода при определении степени зрелости легких.

Ключевые слова: МРТ плода, визуализация в акушерстве, лёгкие плода.

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

Для цитирования: Сыркашев Е.М., Солопова А.Е., Быченко В.Г., Буров А.А., Гус А.И. Оценка нормальных показателей интенсивности сигнала и объема легких плода по данным магнитно-резонансной томографии. REJR 2019; 9(2):90-97. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-90-97.

Статья получена: 06.04.19

Статья принята: 14.06.19

EVALUATION OF NORMAL FETAL LUNG VOLUME AND FETAL LUNG SIGNAL INTENSITY BY MAGNETIC-RESONANCE IMAGING

Syrkashev E.M., Solopova A.E., Bychenko V.G., Burov A.A., Gus A.I.

Purpose. To evaluate correlation between fetal lung signal intensity on T2WI, lung volume and gestational age and to determine reproducibility and reliability of methods.

Materials and methods. Retrospective study included 34 fetuses at gestational age from 18 to 40 weeks. First group included 23 fetuses that underwent MRI scan for pathology didn't affect the lungs. Second group included 11 fetus with congenital diaphragmatic hernia with an unfavorable prognosis according to US.

Results. Among fetus without pulmonary hypoplasia mean value of RLSI/LSI (right

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

V.I. Kulakov National medical research center of obstetrics, gynaecology and perinatal medicine. Moscow, Russia.

lung signal intensity/liver signal intensity) was 2,348 (1,535-3,706), mean value of lung volume was 51,156 cm³ (8,99-111,48). Similar values among fetus with pulmonary hypoplasia: RLSI/LSI – 2,082 (1,393-3,130), lung volume – 15,49 cm³ (4,64-25,5). In fetuses with unaffected lungs statistical analysis revealed positive correlation between gestational age and RLSI/LSI ($r=0,741$, $p=0,001$), between gestational age and lung volume ($r=0,936$, $p<0,001$), between RLSI/LSI and lung volume ($r=0,732$, $p=0,001$). Intraclass coefficient correlation in group 1 was 0,83 and 0,81 when calculating RLSI/LSI, 0,89 and 0,85 when calculating lung volume, in group 2 – 0,80 and 0,79 when calculating RLSI/LSI, 0,87 and 0,85 when calculating lung volume.

Conclusions. Data resulting from the study allow using lung volume and ISPL/ICP in evaluation of lung maturity.

Keywords: fetal MRI, prenatal imaging, fetal lung.

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

For citation: Syrkashev E.M., Solopova A.E., Bychenko V.G., Burov A.A., Gus A.I. Evaluation of normal fetal lung volume and fetal lung signal intensity by magnetic-resonance imaging. REJR 2019; 9(2):90-97. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-90-97.

Received: 06.04.19

Accepted: 14.06.19

Определение нормативных показателей размеров органов плода – один из ключевых моментов в понимании и своевременном определении врожденных пороков развития. В течение последних трех десятилетий было проведено множество исследований, направленных на выявление нормированных измерений плода по данным эхографии и МРТ. Одним из наиболее проблемных органов являются легкие.

Процессы созревания легких являются основными факторами, определяющими прогноз в постнатальном периоде среди недоношенных детей и младенцев с врожденными аномалиями развития. Как правило, гипоплазия легких проявляется сразу после рождения в виде дыхательных нарушений и, зачастую, является непосредственной причиной гибели ребенка.

Врожденная гипоплазия легких (первичная и вторичная) встречается в 9-11 случаях на 10000 новорожденных [1]. Первичная гипоплазия легких выявляется крайне редко и является результатом идиопатических дефектов определенных факторов роста или транскрипции, либо других синдромов и врожденных аномалий таких как синдром Эскобара, синдром “турецкой сабли”, трисомии 21 хромосомы и т.д. Чаще наблюдается вторичная гипоплазия легких, связанная с уменьшением или деформацией грудной клетки, нарушением дыхательных движений плода, снижением содержания жидкости в легких при маловодии, а также с врожденными пороками сердца с недостаточным кровотоком в системе легочной артерии [2]. Частота смертности при выраженной гипоплазии легких составляет 71-95% [3, 4].

Своевременное определение степени гипоплазии легких плода, а также ее градация на

летальные и нелетальные формы определяет тактику дальнейшего ведения беременности, включая антенатальные и постнатальные хирургические вмешательства, оптимизацию подготовки к родам либо прерывание беременности. Таким образом, оценка степени зрелости легких является одним из основных компонентов полноценного антенатального обследования.

Учитывая широкую доступность, эхография является первичным методом диагностики. Фетальная магнитно-резонансная томография используется для уточнения характера и протяженности изменений, морфологической оценке смежных органов, определения сочетанных аномалий развития. В сравнении с УЗИ, МРТ имеет более высокий естественный контраст мягких тканей, более широкое поле обзора, возможность получения изображений в любой плоскости вне зависимости от положения плода. Использование фетальной МРТ увеличивает точность измерений органов плода, а также предоставляет возможности выполнения не только волюметрических, но и функциональных показателей, направленных на определение степени зрелости ткани легких [5].

К основным показателям структурной зрелости ткани легких можно отнести: измерение объема легких и интенсивности сигнала на T2-ВИ, так как интенсивность МР-сигнала на T2-ВИ и объем легких увеличиваются в течение беременности [6]. В некоторых работах также вычислялся измеряемый коэффициент диффузии (ИКД) на диффузионно-взвешенных изображениях (ДВИ) [5, 7]. Однако, единого мнения о наличии корреляций с гестационным возрастом у различных авторов не достигнуто [5, 8-11].

В отечественной литературе данный во-

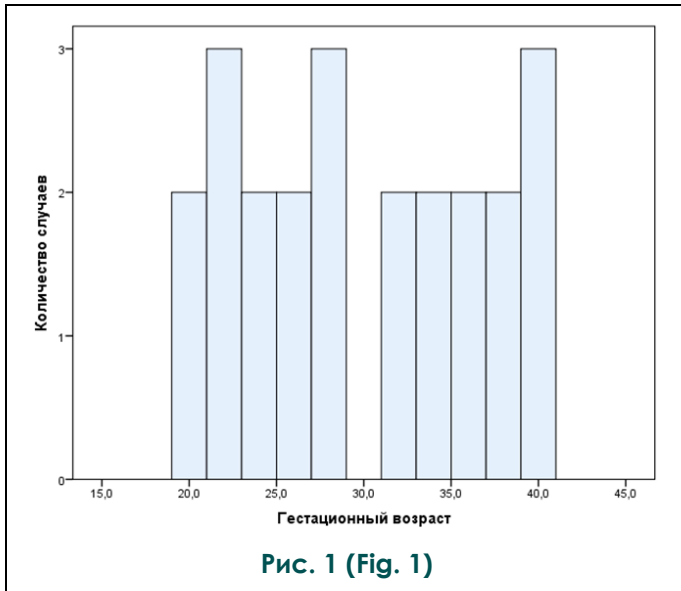


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Диаграмма.

Распределение плодов без гипоплазии легких по гестационному возрасту.

Fig. 1. Diagram.

Distribution of fetus with unaffected lungs by age.

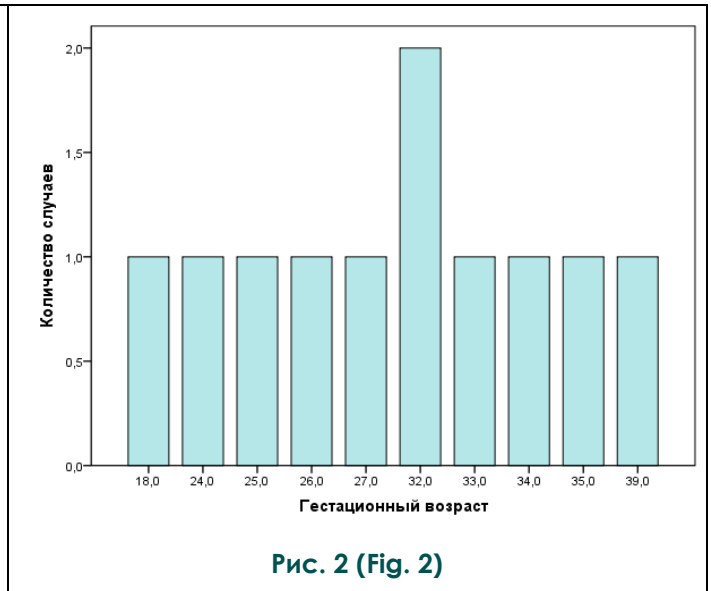


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Диаграмма.

Распределение плодов с легочной гипоплазией по гестационному возрасту.

Fig. 2. Diagram.

Distribution of fetus with lung hypoplasia by age.

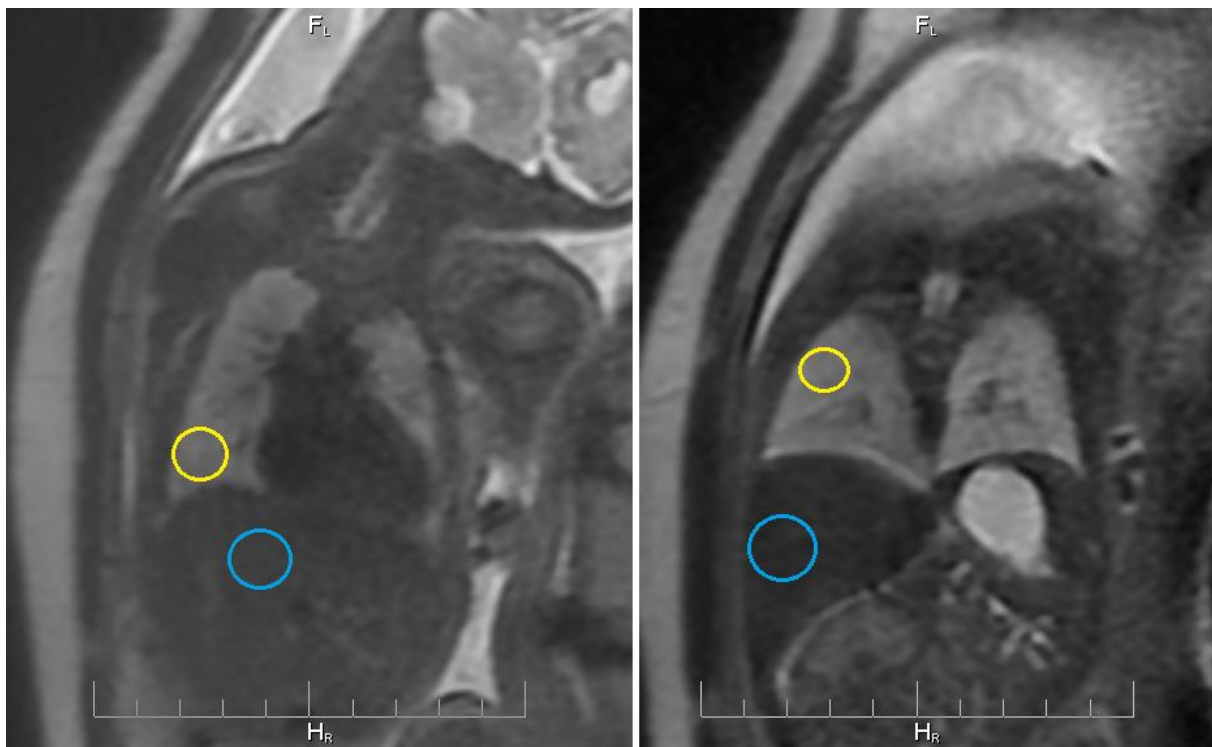


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. МРТ.

Пример измерения интенсивности МР-сигнала легкого и печени на фронтальных Т2-ВИ изображениях.

Fig. 3. MRI.

Example of measuring the lung and liver signal intensity in frontal T2-WI images.

прос освящен недостаточно. До сих пор не ясно какой из вычисляемых параметров является наиболее точным и воспроизводимым показателем структурной зрелости легких. Поэтому целью данного исследования является изучение возможностей МРТ в антенатальной диагностике гипоплазии легких, определении воспроизводимости применяемых методик и достоверности заключений внутри и между обозревателями.

Цель исследования.

Оценить корреляцию между интенсивностью МР-сигнала на T2-ВИ от легких плода, объемом легких и гестационным возрастом, а также определить воспроизводимость применяемых методик и достоверность заключений внутри и между обозревателями.

Материалы и методы.

Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России. В ретроспективное исследование были включены 34 плода на сроке гестации от 18 до 40 недель. В первую группу включили 23 плода (от 20 до 40 недель беременности), которым проводилась фетальная МРТ по поводу патологии, не затрагивающей состояние легких (рис. 1), без использования седативных и контрастных препаратов (аномалии развития головного мозга (n=7), позвоночника (n=1), предлежание/врастание плаценты (n=7), пельвиометрия (n=8)). У всех новорожденных из 1 группы клинических признаков гипоплазии легких не наблюдалось.

Во вторую группу включено 11 плодов с врожденной диафрагмальной грыжей с неудовлетворительным прогнозом по данным эхографии на сроке беременности от 18 до 39 недель (рис. 2), которым была выполнена МРТ. Постнатально во всех случаях была выявлена различной степени гипоплазия легких на основании клинических данных, а также по данным аутопсии.

Протокол МРТ.

Все исследования были проведены на томографе GE Signa 1,5T. Всем пациентам были выполнены одни и те же сверхбыстрые импульсные последовательности с получением T1 и T2-ВИ в аксиальной, сагиттальной и фронтальной проекциях.

T1-ВИ были получены с использованием следующих параметров: TR – 8,1, TE – 4,2, толщина среза – 5,0 мм, матрица – 280x192, FOV – 400x400мм.

T2-ВИ были получены с использованием следующих параметров: TR – 689,7, TE – 85,6, толщина среза – 3,5-5,0 мм, матрица – 320x224, FOV – 400x400мм.

Параметры сканирования были идентичны у всех пациентов.

Общее время сканирования составило в

среднем 34,5 минут (21-48 мин). Относительная длительность исследования была связана с выполнением основной цели исследования (визуализация структур головного мозга, костных структур малого таза при пельвиометрии и т.д.).

Измерение интенсивности МР-сигнала на T2-ВИ.

В основе данного метода лежит оценка интенсивности сигнала (ИС) на фронтальных T2-ВИ от правого легкого и печени путем выделения соответствующих зон интереса. Зоны интереса выбирались таким образом, чтобы получить максимально гомогенный МР-сигнал (исключая сосудистые структуры и бронхи). Для каждого измерения ИС правого легкого и печени выполнялось по два измерения на разных срезах с вычислением среднего арифметического (рис. 3). Отношение ИС определялось путем деления значения ИС от правого легкого на значение ИС от печени. Отношение ИС легкого на ИС печени (ИСПЛ/ИСП) представляет целевой интерес при статистическом анализе данных. С целью определения воспроизводимости применяемой методики и достоверности заключений внутри и между обозревателями вычисления проводились двумя врачами-рентгенологами с интервалами в 3-7 дней.

Вычисление объема легких.

Объем легких определяли независимо два врача-рентгенолога с помощью стороннего бесплатного программного обеспечения как сумма объемов правого и левого легких, вычисленных на сверхбыстрых последовательностях с помощью ручного выделения зон интереса и суммирования выделенных областей (рис. 4). В зоны интереса не включали крупные сосуды легочных ворот. Плоскость сканирования для определения зон интереса выбирали на основании наилучшего качества изображения (в подавляющем большинстве случаев на коронарных изображениях). Объем легких измеряли в см³. Для определения воспроизводимости применяемой методики и достоверности заключений внутри и между обозревателями вычисления проводили два врача-рентгенолога с интервалами в 3-7 дней.

Статистический анализ.

Статистический анализ проводили с помощью пакета статистических программ STATISTICA 10 (США) для выявления корреляции между отношением ИС легкого/печень, объемом легких и гестационным возрастом плода. Для определения воспроизводимости применяемых методик и достоверности заключений внутри и между обозревателями использовали внутриклассовый коэффициент корреляции (Intraclass Correlation Coefficient (ICC)).

Результаты.

При оценке объема легких были выявлены значимые различия в исследуемых группах

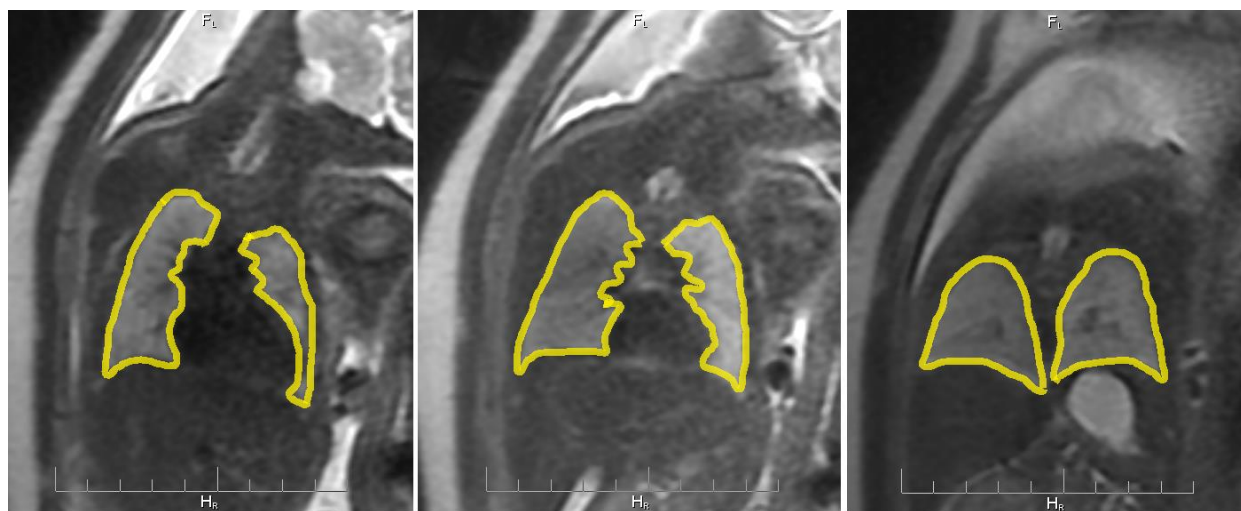


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. МРТ.

Пример ручного выделения зон интереса на фронтальных T2-ВИ изображениях с целью суммации площадей и получения интересующего объема.

Fig. 4. MRI.

Example of ROI's manual selection on frontal T2-WI images in order to summation areas and obtain the volume.

($p=0,001$): для плодов без гипоплазии легких среднее значение объема легких составило 51,156 см³ (8,99-111,48), среди плодов с легочной гипоплазией объем легких составил 15,49 см³ (4,64-25,5). Аналогичные различия были получены при оценке ИСПА/ИСП ($p=0,009$): для плодов без гипоплазии легких среднее значение ИСПА/ИСП составило 2,484 (1,66-3,613), среди плодов с легочной гипоплазией ИСПА/ИСП – 1,893 (1,344-2,83).

У плодов с неизменной функцией легких статистический анализ выявил положительную корреляцию между гестационным возрастом и ИСПА/ИСП ($r=0,741$, $p=0,001$) (рис. 5), между сроком беременности и объемом легких ($r=0,936$, $p<0,001$) (рис. 6), а также ИСПА/ИСП и объемом легких ($r=0,732$, $p=0,001$) (рис. 7).

Среди плодов с гипоплазией легких статистический анализ также выявил положительную корреляцию между гестационным возрастом и объемом легких ($r=0,632$, $p<0,037$) (рис. 8), между гестационным возрастом и ИСПА/ИСП, ИСПА/ИСП и объемом легких достоверных корреляций получено не было ($r=0,566$, $p=0,069$ и $r=0,105$, $p=0,758$, соответственно).

Внутриклассовый коэффициент корреляции для определения достоверности заключений внутри и между обозревателями в 1 группе составил 0,83 и 0,81 при вычислении отношения ИС правого легкого на ИС печени, 0,89 и 0,85 при вычислении объема легких, во 2 группе – 0,80 и 0,79 при вычислении отношения ИС правого легкого на ИС печени, 0,87 и 0,85 при вычислении объема легких.

Обсуждение.

Известно, что гипоплазия легких новорожденных связана с высоким уровнем неонатальной смертности. Поэтому своевременное определение признаков легочной гипоплазии является одним из ключевых компонентов полноценного антенатального обследования. Пренатальная идентификация групп высокого риска имеет крайне важное значение в планировании возможных исходов беременности, пренатального консультирования родителей и оптимизации подготовки к родам.

Оценка степени легочной гипоплазии с использованием методов визуальной диагностики является одним из важнейших этапов в полноценном обследовании плодов с врожденной диафрагмальной грыжей, а также других патологий, влияющих на рост легких. Учитывая доступность и относительно низкую стоимость, ультразвуковое исследование является первичным методом диагностики. Однако, например, при врожденной диафрагмальной грыже эвентрированные органы брюшной полости и гипоплазированные легкие могут иметь схожую эхогенность, что затрудняет точную оценку границ легких и печени. Сверхбыстрые последовательности, используемые в магнитно-резонансной томографии, позволяют достаточно четко разграничивать органы грудной клетки и окружающие структуры с визуализацией основных бронхов, трахеи, сердца, легочных ворот, тимуса, пищевода и диафрагмы.

В некоторых работах было показано, что наиболее точные цифры объема легких удается

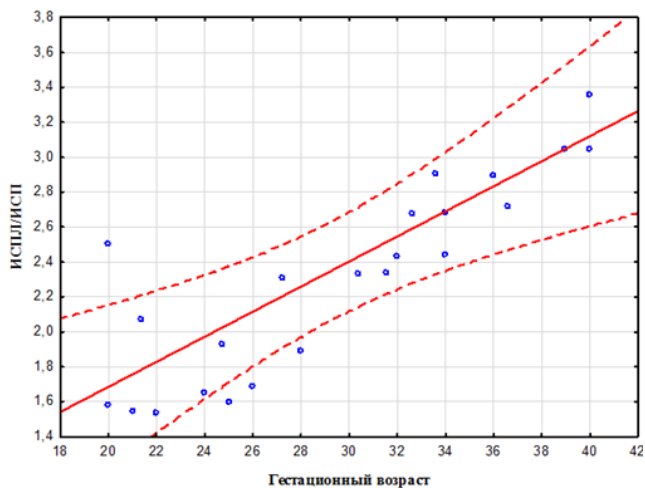


Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. Диаграмма.

Распределение значений интенсивности МР-сигнала (ИСПЛ/ИСП) в зависимости от гестационного возраста (недели).

Fig. 5. Diagram.

Distribution of intensity signal (RLSI/LSI) depending on gestational age (in weeks).

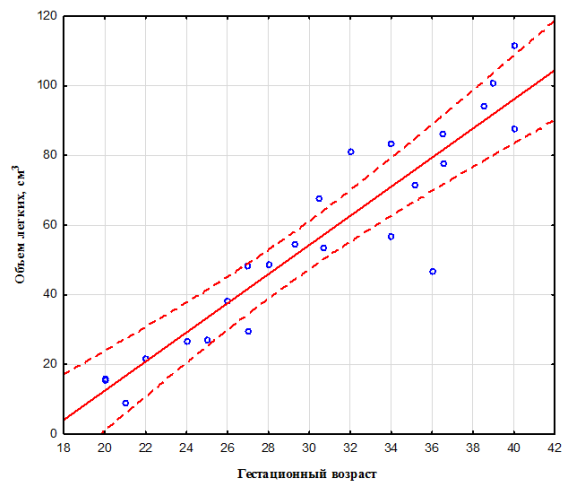


Рис. 6 (Fig. 6)

Рис. 6. Диаграмма.

Распределение значений объема легких (см³) в зависимости от гестационного возраста (недели).

Fig. 6. Diagram.

Distribution of lung volume (cm³) depending on gestational age (in weeks).

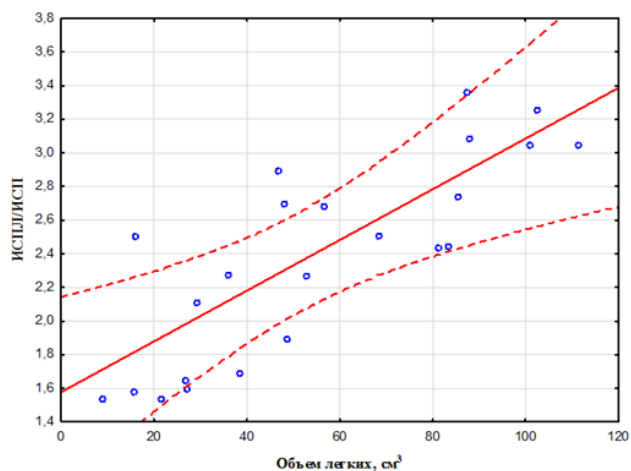


Рис. 7 (Fig. 7)

Рис. 7. Диаграмма.

Распределение значений интенсивности МР-сигнала (ИСПЛ/ИСП) в зависимости от объема легких (см³).

Fig. 7. Diagram.

Distribution of intensity signal (RLSI/LSI) depending on lung volume (cm³).

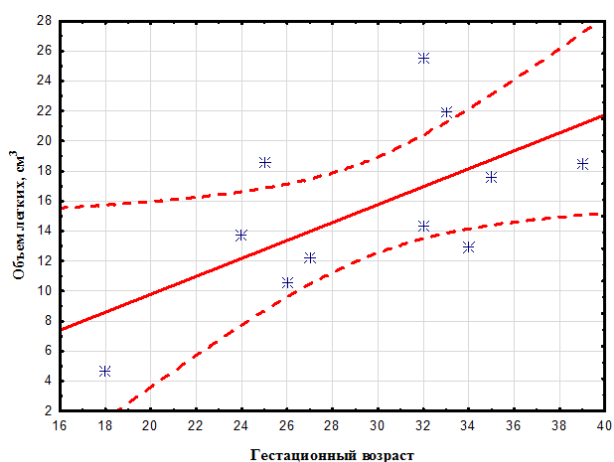


Рис. 8 (Fig. 8)

Рис. 8. Диаграмма.

Распределение значений объема легких (см³) в зависимости от гестационного возраста (недели) среди плодов с легочной гипоплазией.

Fig. 8. Diagram.

Distribution of lung volume (cm³) depending on gestational age (in weeks) among fetuses with lung hypoplasia.

получить на аксиальных изображениях, другие исследования демонстрируют независимость данных показателей от плоскости сканирования [12]. В нашем исследовании плоскость для вычисления выбиралась на основании наилучшего качества изображений (в подавляющем большинстве случаев – корональные изображения). Поэтому вычисление объема легких, основанное на выделении соответствующих зон интереса не вызывало сложностей, что способствовало достаточно высокому уровню согласованности заключений между исследователями.

Помимо количественных показателей МРТ позволяет оценить химический и структурный состав различных тканей: легкие плода на ранних сроках беременности имеют менее интенсивный сигнал на T2-ВИ по сравнению с поздними сроками гестации (что связано с высоким уровнем жидкости в мелких дыхательных путях и альвеолах, в то время как низкая интенсивность на T2-ВИ связана с отсутствием таковой жидкости [13]). Абсолютные значения интенсивности сигнала от легких плода не информативны. Поэтому необходимо использовать референсную структуру, расположенную близко к легким, достаточно гомогенную и относительно стабильную по интенсивности в течение беременности. Этим критериям, на наш взгляд, более соответствует печень плода (несмотря на то, что ее интенсивность несколько меняется в течение беременности). Тщательное выделение не менее четырех наиболее гомогенных зон интереса на уровне легких и печени (не включая сосудистые структуры и бронхи) позволило получить высокие значения ИСС при анализе показателей интенсивности МР-сигнала (ИСПЛ/ИСП) в зависимости от гестационного возраста.

Полученные нами данные об ИСПЛ/ИСП и объеме легких несколько отличаются от соответствующих показателей зарубежных исследователей. Более того, данные показатели также отличаются у различных авторов. С одной стороны, это может быть связано с различными методиками вычисления объемов и ИС и с различиями в выборках по срокам беременности, с

другой стороны – с вариабельностью нормированных показателей в III триместре беременности [7, 12, 14].

Выводы.

Количественные показатели зрелости легких плода востребованы в качестве стандартов при прогнозировании рисков легочной гипоплазии и клинических исходов при таких состояниях, как врожденная диафрагмальная грыжа или бронхолегочные пороки развития. Полученные данные демонстрируют высокую корреляцию между гестационным возрастом, объемом легких и ИСПЛ/ИСП плода, а также достоверные различия соответствующих показателей среди плодов с неизменными легкими и с легочной гипоплазией, что делает эти методы полезным инструментом в определении степени зрелости легких. Описанная ранее методика вычисления интересующих показателей способствует достаточно высокому уровню согласованности заключений различных исследователей. При этом отсутствие общепринятых стандартизированных критериев оценки нормального развития легких плода по данным МРТ несколько затрудняет их применение в прогнозировании исходов при гипоплазии легких. Мы считаем целесообразным проведение дальнейших исследований с большим количеством плодов различных сроков беременности, направленных на определение степени зрелости легких с использованием не только объема и интенсивности МР-сигнала, но и иных показателей, включая диффузионно-взвешенные изображения. Кроме того, для более точной оценки степени гипоплазии легких и прогнозировании исходов беременности необходима стандартизация пренатальных методов оценки зрелости легких с вычислением пороговых значений.

Источник финансирования и конфликт интересов.

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

Список литературы:

1. J.-S. Hsu et al. Primary congenital pulmonary hypoplasia of a neonate. *J. Chin. Med. Assoc.* 2012; 75 (2): 87–90.
2. Щеголев А.И., Туманова У.Н., Ляпин В.М. Гипоплазия легких: причины развития и патологоанатомическая характеристика. *Int. J. Appl. Fundam. Res.* 2017; 4: 101–153.
3. A. Bush, J. Hogg, and L. S. Chitty. Cystic lung lesions - prenatal diagnosis and management. *Prenat. Diagn.* 2008; 28 (7): 604–611.
4. J. W. Logan, H. E. Rice, R. N. Goldberg, and C. M. Cotton. Congenital diaphragmatic hernia: a systematic review and summary of best-evidence practice strategies. *J. Perinatol.* 2007; 27 (9): 535–549.
5. O. Afacan et al. Fetal lung apparent diffusion coefficient measurement using diffusion-weighted MRI at 3 Tesla: Correlation with gestational age. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2016; 44 (6): 1650–1655.
6. M. Moshiri, L. Mannelli, M. L. Richardson, P. Bhargava, and T. J. Dubinsky. Fetal lung maturity assessment with MRI fetal lung-to-liver signal-intensity ratio. *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (6): 1386–1390.
7. R. Ogawa, T. Kido, M. Nakamura, T. Kido, T. Mochizuki, and T. Sugiyama. Magnetic resonance assessment of fetal lung maturity: comparison between signal intensity and volume measurement. *Jpn. J. Radiol.* 2018; 0123456789: 1–6.

8. R. J. Moore, B. Strachan, D. J. Tyler, P. N. Baker, and P. A. Gowland. *In vivo* diffusion measurements as an indication of fetal lung maturation using echo planar imaging at 0.5T. *Magn. Reson. Med.* 2001; 45 (2): 247–253.

9. C. Balassy et al. Diffusion-weighted MR imaging of the normal fetal lung. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (4): 700–706.

10. M. Cannie, J. Jani, F. De Keyzer, I. Roebben, S. Dymarkowski, and J. Deprest. Diffusion-weighted MRI in lungs of normal fetuses and those with congenital diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (6): 678–686.

11. L. Manganaro et al. Diffusion-weighted MR imaging and apparent diffusion coefficient of the normal fetal lung: preliminary

experience. *Prenat. Diagn.* 2008; 28 (8): 745–748.

12. M. L. Meyers, J. R. Garcia, K. L. Blough, C. I. Cassady, and A. R. Mehollin-ray. *Fetal Lung Volumes by MRI: Normal Weekly Values From 18 Through 38 Weeks' Gestation.* 2018; 1–7.

13. S. Kuwashima et al. Low-intensity fetal lungs on MRI may suggest the diagnosis of pulmonary hypoplasia. *Pediatr. Radiol.* 2001; 31 (9): 669–672.

14. E. Rubesova, S. Deshmukh, E. Rubesova, and R. Barth. *MR Assessment of Normal Fetal Lung Volumes: A Literature Review.* 2010; 212–217.

References:

1. J.-S. Hsu et al. Primary congenital pulmonary hypoplasia of a neonate. *J. Chin. Med. Assoc.* 2012; 75 (2): 87–90.

2. Shchegolev A.I., Tumanova U.N. Pulmonary hypoplasia: causes and pathological finding. *Int. J. Appl. Fundam. Res.* 2017; 4: 101–153 (in Russian).

3. A. Bush, J. Hogg, and L. S. Chitty. Cystic lung lesions - prenatal diagnosis and management. *Prenat. Diagn.* 2008; 28 (7): 604–611.

4. J.W. Logan, H. E. Rice, R. N. Goldberg, and C. M. Cotton. Congenital diaphragmatic hernia: a systematic review and summary of best-evidence practice strategies. *J. Perinatol.* 2007; 27 (9): 535–549.

5. O. Afacan et al. Fetal lung apparent diffusion coefficient measurement using diffusion-weighted MRI at 3 Tesla: Correlation with gestational age. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2016; 44 (6): 1650–1655.

6. M. Moshiri, L. Mannelli, M. L. Richardson, P. Bhargava, and T. J. Dubinsky. Fetal lung maturity assessment with MRI fetal lung-to-liver signal-intensity ratio. *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (6): 1386–1390.

7. R. Ogawa, T. Kido, M. Nakamura, T. Kido, T. Mochizuki, and T. Sugiyama. Magnetic resonance assessment of fetal lung maturity: comparison between signal intensity and volume meas-

urement. *Jpn. J. Radiol.* 2018; 0123456789: 1–6.

8. R. J. Moore, B. Strachan, D. J. Tyler, P. N. Baker, and P. A. Gowland. *In vivo* diffusion measurements as an indication of fetal lung maturation using echo planar imaging at 0.5T. *Magn. Reson. Med.* 2001; 45 (2): 247–253.

9. C. Balassy et al. Diffusion-weighted MR imaging of the normal fetal lung. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (4): 700–706.

10. M. Cannie, J. Jani, F. De Keyzer, I. Roebben, S. Dymarkowski, and J. Deprest. Diffusion-weighted MRI in lungs of normal fetuses and those with congenital diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (6): 678–686.

11. L. Manganaro et al. Diffusion-weighted MR imaging and apparent diffusion coefficient of the normal fetal lung: preliminary experience. *Prenat. Diagn.* 2008; 28 (8): 745–748.

12. M. L. Meyers, J. R. Garcia, K. L. Blough, C. I. Cassady, and A. R. Mehollin-ray. *Fetal Lung Volumes by MRI: Normal Weekly Values From 18 Through 38 Weeks' Gestation.* 2018; 1–7.

13. S. Kuwashima et al. Low-intensity fetal lungs on MRI may suggest the diagnosis of pulmonary hypoplasia. *Pediatr. Radiol.* 2001; 31 (9): 669–672.

14. E. Rubesova, S. Deshmukh, E. Rubesova, and R. Barth. *MR Assessment of Normal Fetal Lung Volumes: A Literature Review.* 2010; 212–217.