



<https://doi.org/10.34883/PI.2023.13.3.042>



Левандовский Е.В.✉, Улезко Е.А., Девялтовская М.Г., Бучель Ю.Ю., Куренёва О.М.
Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя», Минск, Беларусь

Возможности магнитно-резонансной томографии в пренатальной диагностике заболеваний центральной нервной системы: обзор литературы

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования – Левандовский Е.В., Улезко Е.А.; сбор и обработка материала – Левандовский Е.В.; написание текста – Левандовский Е.В.; редактирование – Левандовский Е.В., Улезко Е.А., Девялтовская М.Г., Бучель Ю.Ю., Куренёва О.М.

Подана: 26.08.2023

Принята: 20.09.2023

Контакты: lewandowski10mg@gmail.com

Резюме

В настоящее время «золотым стандартом» диагностики аномалий плода является ультразвуковое исследование. Однако данный метод имеет ряд ограничений в диагностике аномалий центральной нервной системы плода. Это объясняется множеством факторов, включающих срок гестации, положение плода и тип порока. За последние два десятилетия методики магнитно-резонансной томографии заметно эволюционировали, предоставив новые последовательности и протоколы исследования ЦНС плода. В Республике Беларусь магнитно-резонансная томография плода применяется преимущественно в организациях IV уровня оказания медицинской помощи. Определено, что магнитно-резонансная томография используется для подтверждения или исключения выявленных при ультразвуковом исследовании патологических изменений. В статье проанализированы данные отечественной и мировой литературы о возможностях проведения магнитно-резонансной томографии плода. Кроме того, рассмотрены существующие руководства и рекомендации по использованию этого метода для оценки ЦНС плода. При магнитно-резонансной томографии плода применяются быстрые протоколы и последовательности сканирования. На сегодняшний день не существует единого протокола для обследования плода. Также не регламентированы и сами параметры применяемых импульсных последовательностей. Целью данного литературного обзора является определение места магнитно-резонансной томографии в структуре диагностических методов исследования ЦНС плода, а также выявление оптимальных последовательностей и протоколов сканирования, применяемых для диагностики аномалий ЦНС плода.

Ключевые слова: пренатальная диагностика, магнитно-резонансная томография, аномалии, ЦНС, плод

Levandouski Y.✉, Ulezko A., Devyaltouskaya M., Buchel Y., Kureneva O.
Republican Scientific and Practical Center "Mother and Child", Minsk, Belarus

Magnetic Resonance Imaging Capabilities in Prenatal Diagnosis of Central Nervous System Diseases: A Literature Review

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: concept and research design – Levandouski Y., Ulezko A.; collection and processing of material – Levandouski Y.; text writing – Levandouski Y.; editing – Levandouski Y., Ulezko A., Devyaltouskaya M., Buchel Y., Kureneva O.

Submitted: 26.08.2023

Accepted: 20.09.2023

Contacts: lewandowski10mg@gmail.com

Abstract

Currently, the gold standard for the diagnosis of fetal anomalies is ultrasonography. However, this method has a number of limitations in the diagnosis of fetal central nervous system anomalies. This is due to many factors including gestational age, fetal position, and type of malformation. Over the past two decades, magnetic resonance imaging techniques have evolved markedly, providing new sequences and protocols for the study of the fetal CNS. In the Republic of Belarus, fetal magnetic resonance imaging is used predominantly in level IV organizations of medical care. It is determined that magnetic resonance imaging is used to confirm or exclude pathologic changes detected by ultrasound examination. The article analyzes the data of domestic and world literature on the possibilities of fetal magnetic resonance imaging. In addition, the existing guidelines and recommendations on the use of this method for the evaluation of fetal CNS are considered. Fetal magnetic resonance imaging utilizes rapid protocols and scanning sequences. To date, there is no single protocol for fetal imaging. Nor are the parameters of the pulse sequences used regulated. The purpose of this literature review is to determine the place of magnetic resonance imaging in the structure of diagnostic methods of fetal CNS examination, as well as to identify the optimal sequences to be used for fetal CNS examination.

Keywords: prenatal diagnosis, magnetic resonance imaging, anomalies, CNS, fetus

■ ВВЕДЕНИЕ

Пренатальное ультразвуковое исследование (УЗИ) считается основным диагностическим инструментом для визуальной диагностики аномалий плода. Однако несколько крупномасштабных исследований указывают, что данных, полученных при проведении УЗИ, недостаточно для диагностики некоторых пороков развития, в частности аномалий центральной нервной системы (ЦНС). Таким образом, фактическая тяжесть порока развития не всегда коррелирует с результатами пренатального УЗИ.

Расхождение объясняется рядом факторов, оказывающих влияние на процесс диагностики, таких как срок гестации, положение плода, тип порока и т. д. По данным исследования Eurofetus, чувствительность УЗИ в отношении пороков развития ЦНС составляет 88% [1].



За последние 20 лет методики и возможности магнитно-резонансной томографии (МРТ) претерпели значительный ряд изменений: появились новые импульсные последовательности (далее – последовательности) и протоколы сканирования, в частности для исследования головного мозга плода [2, 3].

МРТ плода является методом диагностики преимущественно организаций IV уровня оказания медицинской помощи в Республике Беларусь. Исследование показано исключительно после проведенного пренатального УЗИ, особенно в тех случаях, когда результаты УЗИ предъявляют сомнительные признаки наличия или отсутствия патологических изменений ЦНС. В этих же случаях требуется использование ряда дополнительных методов исследования для подтверждения или исключения предполагаемого диагноза и принятия решения о соответствующей тактике ведения беременности. В клинической практике проведение МРТ плода также имеет диагностическую ценность при наличии подтвержденных генетических заболеваний родителей и в случаях неблагоприятного исхода предыдущих беременностей вследствие выявленных *post mortem* генетических заболеваний [4].

В последние годы наблюдается стремительный рост количества публикаций, посвященных МРТ плода. С течением времени и закономерным совершенствованием технологий расширяются горизонты применения новых методик исследования ЦНС плода: опубликованы опыт применения аппаратов МРТ с магнитным полем в 3 Тесла (Т), а также данные использования функциональных магнитно-резонансных последовательностей и создания трехмерных (3D) реконструкций [5].

В данных мировых литературных источников встречаются руководства и рекомендации относительно показаний к проведению МРТ плода, основанные на анализе собственных клинических и инструментальных данных [6–8].

Целью данного литературного обзора является определение оптимальных последовательностей и протоколов МР-исследования ЦНС плода среди известных.

■ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОТОКОЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последнее десятилетие значительно возросла важность МРТ плода для диагностики пороков ЦНС. МРТ ЦНС плода следует рассматривать как обследование, дополняющее и уточняющее характер изменений, выявленных при нейросонографии, или в случаях затруднения достоверной оценки полученных данных в связи с трудностями визуализации вследствие особенностей предлежания плода или соматическим состоянием матери.

Как правило, МРТ плода проводится с использованием традиционного сверхпроводящего томографа с индукцией магнитного поля 1,5 Т, оснащенного поверхностной катушкой с фазированной решеткой (туловищной), обеспечивающей достаточное соотношение сигнал/шум (англ. *signal-to-noise ratio* – SNR) и оптимальное качество визуализации. В большинстве случаев рекомендуется использование сверхбыстрых протоколов сканирования, обеспечивающих удовлетворительное качество визуализации, несмотря на подвижность плода [9].

Многоканальные катушки с фазированной решеткой (4–32 канала) могут быть использованы в зависимости от срока беременности, размера амниотического мешка и матки. Катушки с фазированной решеткой усиливают сигнал в направлении оси Z, хотя все еще ограничены полем сканирования, составляющим около 60 см.

Некоторыми авторами были отмечены потенциальные преимущества использования более сильных магнитных полей (3 Т), однако в настоящее время лишь несколько центров в мире используют эту методику в повседневной клинической практике. По данным литературы, визуализация при использовании магнитного поля в 3 Т улучшает SNR, если техника оптимизирована. Важным ограничением являются двигательные артефакты плода, но разработка новых методов получения изображений позволит преодолеть эти проблемы [5].

МРТ плода следует проводить только после высококачественного УЗИ плода. Эта рекомендация основана на том, что УЗИ и МРТ являются взаимодополняющими методами визуализации.

По данным литературы, исследование рекомендуется проводить с 19-й недели гестации. Имеющиеся в настоящее время технологии не позволяют обеспечить удовлетворительное пространственное разрешение для получения диагностической ценности, поскольку плод слишком мал; кроме того, мозолистое тело и червь мозжечка недостаточно развиты до 18-й недели гестации [10].

МРТ плода должна быть сфокусирована на области интереса – голова/шея или грудная/брюшная полость. Если на некоторых МР-сканах обнаружены случайные находки в виде признаков сопутствующих патологий или если мультидисциплинарная команда (врач МРТ, генетик, гинеколог и т. д.) подозревает вовлечение ЦНС в патологический процесс, исследование нужно расширить до полной МРТ тела плода.

■ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Протокол исследования включает в себя преимущественно T2-взвешенные и T1-взвешенные изображения (ВИ); названия и аббревиатуры этих последовательностей различаются у разных фирм – производителей МРТ [11].

Быстрые последовательности T2-ВИ или турбо спин-эхо (англ. turbo spin-echo – TSE) представляют собой стандартные последовательности для МРТ плода с использованием однократного повторения TR (англ. time repetition) и получением одного среза (TR single shot). Также эта последовательность известна как Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo Spin Echo (HASTE), или Single-Shot Fast Spin Echo (SSFSE), или Single-Shot Turbo Spin Echo (SSTSE) [12]. Толщину среза рекомендуется использовать в размере 3–4 мм. Исследование следует проводить в аксиальной, сагиттальной и коронарной проекции относительно органа-мишени. Благодаря односрезовой технологии получения изображений удается достичь снижения двигательных артефактов плода. Этот способ получения изображений по своей сути представляет собой компромисс между пространственным разрешением и SNR, обеспечивая удовлетворительную визуализацию плода на всех сроках беременности. В частности, этот вид последовательности улучшает контрастность жидкостей и структур с высоким содержанием жидкости, таких как мозг плода, анатомические полости (желудочки, носовая и ротовая полости, глотка, трахея, желудок и проксимальный отдел кишечника, мочевыводящие пути, желчный пузырь), легкие и амниотическая жидкость [13].

Также широко используются последовательности градиентного эха (англ. gradient echo – GRE) с задержкой дыхания – Balanced Steady-State-Free-Precession (bSSFP): TrueFISP Siemens, BFFE Philips, Fiesta GE и др. Эти последовательности могут быть использованы во всех случаях, когда чрезмерное движение плода вызывает



артефакты. Последовательность GE основана на очень коротком TR (<3 мс), и поэтому двигательные артефакты оказывают незначительное влияние на получение изображений. Последовательности bSSFP имеют высокое пространственное, но низкое контрастное разрешение и благодаря промежуточному сигналу T2-T1 они способны отображать движения жидкости в виде гиперинтенсивных структур. Благодаря этому свойству данные последовательности могут быть использованы при исследовании орбит, проходимости синусового водопровода, целостности неба.

T1-последовательности с жироподавлением (англ. fat saturation – FS) и без него проводятся с функцией задержки дыхания. Наиболее важной проблемой использования данных последовательностей является время получения изображений. Обычно используются два различных типа последовательностей T1-BI: GRE с коротким TR и временем эхо (англ. echo time – TE) и быстрое спин-эхо (англ. fast spin echo – FSE-T1). FSE-T1 обеспечивает лучшее пространственное разрешение, но требуется около 20 секунд, по данным литературных источников, и требуется отсутствие экскурсий диафрагмы. Последовательности T1 имеют диагностическую ценность в исследовании некоторых органов плода, обладающих гиперинтенсивным сигналом той или иной степени выраженности, например, нейрогипофиза, некоторых структур головного мозга, таких как кора и миелиновые волокна, кровоизлияния или жировые включения.

Однако слабое контрастное разрешение T1-последовательностей в применении к вышеописанным объектам исследования может потребовать большего числа сканов, что делает эти последовательности более чувствительными к движениям плода.

Известно, что мозг плода имеет очень высокое содержание относительно «свободной» жидкости и T1-последовательности с FS помогают усилить контрастность между миелином (белое вещество) и плотно упакованными нейронами (кора и базальные ганглии), улучшая тем самым качество изображений даже на ранних сроках гестации [14].

Диффузионно-взвешенные изображения (англ. diffusion-weighted imaging – DWI) и TSE эхо-планарные изображения (англ. echo-planar imaging – EPI) с применением градиентов (b_0 , b_{50} , b_{200} , b_{400} , b_{700} , b_{1000} с/мм²; с оптимальным контрастным разрешением при использовании значений b между 400 и 700 с/мм²) позволяют получить информацию о движении свободных и связанных молекул жидкости на клеточном уровне. Эти последовательности могут использоваться для визуализации степени зрелости коры головного мозга и белого вещества [15–17], а также для диагностики ишемических процессов в головном мозге [18, 19]. Измеряемый коэффициент диффузии (англ. apparent diffusion coefficient – ADC) является количественной характеристикой диффузии молекул жидкости в ткани и рассчитывается на реконструируемых параметрических картах, создающихся на основе данных DWI-изображений в соответствии с заданной областью интереса (англ. region of interest – ROI). На сегодняшний день нет единого мнения относительно границ диапазона нормальной диффузии, но у взрослых значения ADC меньше чем $1,0\text{--}1,1 \times 10^{-3}$ мм²/с ($1000\text{--}1100 \times 10^{-6}$ мм²/с), как правило, считаются ограничением диффузии [20].

Последовательность с подавлением MP-сигнала от свободной жидкости (англ. fluid attenuation inversion recovery – FLAIR) представляет собой последовательность инверсии-восстановления с длительным временем инверсии, которая используется для устранения сигнала жидкости. Чтобы устранить из изображения сигнал

от жидкости, время инверсии (англ. inversion time – TI) в последовательности FLAIR регулируется таким образом, чтобы оно совпадало со временем релаксации молекул вещества/ткани, которую необходимо подавить [21]. Данная последовательность имеет низкое пространственное разрешение, но может также использоваться в диагностике кровоизлияний и гипоксически-ишемических поражений мозга [22, 23].

Альтернативой стандартной последовательности GRE является последовательность T1-ВИ с инверсией и восстановлением (англ. inversion recovery – IR), подготовленная к TSE (англ. snapshot inversion recovery – SNAPIR): двигательные артефакты менее выражены и менее обширны, даже если время получения изображения больше, чем у последовательности GRE [24].

■ ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

По данным литературы, обследование рекомендуется проводить после голодания в течение не менее 4 часов, поскольку было отмечено, что гипогликемия уменьшает подвижность плода [8]. Беременную укладывают в удобное для нее положение на столе, предпочтительнее на спину, в случаях сдавления нижней полой вены (полигидрамниоз, многоплодная беременность) – на левый бок.

Для матери и плода не используются седативные препараты и не вводится контрастное вещество.

Протокол исследования включает в себя получение различных последовательностей, некоторые из них обозначены как необходимые, а другие выполняются как дополнительные в соответствии с клиническими показаниями. На сегодняшний день не существует единого протокола МРТ-сканирования плода. Более того, различными авторами предложены достоверно отличающиеся друг от друга методики использования последовательностей и протоколов сканирования.

■ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В рекомендациях Американского колледжа радиологии (англ. American College of Radiology – ACR) говорится, что беременные могут проходить МРТ на любом сроке гестации. Чтобы подтвердить это, в крупном исследовании, опубликованном в 2015 году, оценивалось влияние воздействия МРТ с магнитным полем 1,5 Т на плод. Никаких неблагоприятных последствий у новорожденных, которым была проведена МРТ плода с 16 недель гестации, не было обнаружено, в том числе оказывающих влияние на слух новорожденного или внутриутробный рост [25].

Другая недавняя публикация подтверждает эти данные и демонстрирует, что пренатальное воздействие МРТ с магнитным полем в 1,5 Т во втором или третьем триместре беременности при когортном исследовании здоровых новорожденных никак не связано с нарушениями физического развития или нарушениями слуха в дошкольном возрасте [26].

Вопрос о максимальной напряженности поля, которую можно безопасно применять, раскрыт в недавнем исследовании, где продемонстрировано, что магнитное поле в 3 Т можно безопасно применять с использованием очень низкого удельного коэффициента поглощения (англ. specific absorption rate – SAR, показатель радиочастотного излучения (РИ), определяемый как мощность, поглощенная на единицу массы, выраженная в Вт/кг) [27].



В отчете, опубликованном Канадской целевой группой по профилактической медицинской помощи, сформулирован вывод о том, что «магнитно-резонансная томография плода является безопасной при использовании магнитного поля в 3 Т или менее во втором и третьем триместрах беременности» [6].

■ ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ МРТ ЦНС ПЛОДА

До сих пор существуют определенные трудности в пренатальной диагностике аномалий со стороны ЦНС плода. В настоящее время в дополнение к двухмерному (2D) и 3D пренатальному УЗИ используется МРТ при условии наличия определенных показаний. Аномалии ЦНС, выявленные при проведении пренатального УЗИ, являются наиболее распространенным клиническим показанием для МРТ ЦНС плода и составляют около 80% всех МРТ-исследований плода [28–30].

Статистические данные свидетельствуют об удовлетворительной диагностической значимости МРТ ЦНС плода и позволяют дополнительно диагностировать до 55% случаев аномалий ЦНС [31].

Тем не менее следует помнить, что диагностическая точность пренатальной визуализации ЦНС не является 100%-ной, расхождение между пренатальной и постнатальной визуализацией наблюдается примерно в 9% случаев [32].

Основные показания для проведения МРТ плода, выявленные при пренатальном УЗИ: объемные образования (в том числе кисты), вентрикуломегалия или гидроцефалия, аномалии со стороны срединных структур головного мозга (мозолистое тело, прозрачная перегородка), инфекционные заболевания (токсоплазмоз, краснуха, цитомегаловирусная и герпетическая инфекция), ишемические и геморрагические процессы, мальформации коры, аномалии задней черепной ямки (синдром Денди – Уокера, синдром Жубер, мостомозжечковая гипоплазия или атрофия), фето-фетальный трансфузионный синдром, дефекты развития нервной трубки (менингоцеле, миелоцеле, менингомиелоцеле), расщелина губы и нёба [33].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клинический интерес к МРТ плода в последнее время значительно возрастает, особенно в области диагностики врожденных пороков развития ЦНС, благодаря высокому пространственному разрешению и возможности выявления сопутствующих аномалий других органов и систем плода. При недостаточных или сомнительных данных пренатального УЗИ на предмет наличия или отсутствия врожденного порока развития ЦНС МРТ плода может иметь решающее диагностическое значение, что окажет принципиальное влияние на тактику ведения беременности. Более того, применение данного метода открывает новые горизонты диагностических возможностей с появлением нового программного обеспечения, возможности корректировать протоколы сканирования и настраивать уникальные параметры импульсных последовательностей.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Grandjean H., Larroque D., Levi S. The performance of routine ultrasonographic screening of pregnancies in the Eurofetus Study. *Am. journal of obst. and gyn.* 1999;181(2):446–454.
2. Sonigo P. MR imaging of fetal cerebral anomalies. *Pediatr. Radiol.* 1998;28:212–222.

3. Levine D. Fetal CNS anomalies revealed on ultrafast MR imaging. *AJR. Am. J. of roentgenol.* 1999;172(3):813–818.
4. Quinn T., Hubbard A., Adzick N. Prenatal magnetic resonance imaging enhances fetal diagnosis. *J. of pediatr. Surgery.* 1998;33(4):553–558.
5. Victoria T. Fetal magnetic resonance imaging: jumping from 1.5 to 3 tesla (preliminary experience). *Pediatr. Radiol.* 2014;44:376–386.
6. American College of Obstetricians and Gynecologists. Committee opinion no. 656: guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. *Obstetr. and Gynecol.* 2016;127(2):75–80.
7. Patenaude Y. RETIRED: the use of magnetic resonance imaging in the obstetric patient. *J. of Obstetr. and Gynaecol. Canada.* 2014;36(4):349–355.
8. Triulzi F., Manganaro L., Volpe P. Fetal magnetic resonance imaging: indications, study protocols and safety Risonanza magnetica fetale. Indicazioni, protocolli di studio e sicurezza. *Radiol. med.* 2011;116:337–350.
9. Huppert B. Single-shot fast spin-echo MR imaging of the fetus: a pictorial essay. *Radiographics.* 1999;19(1):215–227.
10. Tocchio S. MRI evaluation and safety in the developing brain. *Seminars in perinatology. Saunders.* 2015;39(2):73–104.
11. Bahado-Singh R., Goncalves L. Techniques, terminology, and indications for MRI in pregnancy. *Seminars in Perinatol. Saunders.* 2013;37(5):334–339.
12. Yamashita Y. MR imaging of the fetus by a HASTE sequence. *AJR. Am. J. of roentgenol.* 1997;168(2):513–519.
13. Kline-Fath B. Water imaging (hydrography) in the fetus: the value of a heavily T2-weighted sequence. *Pediatr. Radiol.* 2007;37:133–140.
14. Prayer D., Brugger P.C., Prayer L. Fetal MRI: techniques and protocols. *Pediatr. Radiol.* 2004;34:685–693.
15. Prayer D. Visualization of nonstructural changes in early white matter development on diffusion-weighted MR images: evidence supporting premyelination anisotropy. *Am. J. of Neurorad.* 2001;22(8):1572–1576.
16. McKinstry R. Radial organization of developing preterm human cerebral cortex revealed by non-invasive water diffusion anisotropy MRI. *Cerebral cortex.* 2002;12(12):1237–1243.
17. Prayer D., Prayer L. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of cerebral white matter development. *Europ. J. of Radiol.* 2003;45(3):235–243.
18. Manganaro L. Role of foetal MRI in the evaluation of ischaemic-haemorrhagic lesions of the fetal brain. *J. of Perinat. Med.* 2012;40(4):419–426.
19. Righini A. Apparent diffusion coefficient determination in normal fetal brain: a prenatal MR imaging study. *Am. J. of Neurorad.* 2003;24(5):799–804.
20. Haaga J., Boll D. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the whole body e-book. *Elsevier Health Sciences.* 2016:310–315.
21. Okuda T. Brain lesions: when should fluid-attenuated inversion-recovery sequences be used in MR evaluation? *Radiology.* 1999;212(3):793–798.
22. Sarioglu F. The role of MRI-based texture analysis to predict the severity of brain injury in neonates with perinatal asphyxia. *The Brit. J. of Radiol.* 2022;95(1132):20–28.
23. Benedict R., Zivadinov R. Risk factors for and management of cognitive dysfunction in multiple sclerosis. *Nature Reviews Neurology.* 2011;7(6):332–342.
24. Bataille D., Edwards A., O'Muircheartaigh J. Annual research review: not just a small adult brain: understanding later neurodevelopment through imaging the neonatal brain. *J. of Child Psychol. and Psychiatry.* 2018;59(4):350–371.
25. Strizek B. Safety of MR imaging at 1.5 T in fetuses: a retrospective case-control study of birth weights and the effects of acoustic noise. *Radiology.* 2015;275(2):530–537.
26. Bouyssi-Kobar M. Fetal magnetic resonance imaging: exposure times and functional outcomes at preschool age. *Pediatr. Radiol.* 2015;45:1823–1830.
27. Krishnamurthy U. MR imaging of the fetal brain at 1.5 T and 3.0 T field strengths: comparing specific absorption rate (SAR) and image quality. *J. of Perinatal. Med.* 2015;43(2):209–220.
28. Peruzzi P., Corbitt R., Raffel C. Magnetic resonance imaging versus ultrasonography for the in-utero evaluation of central nervous system anomalies. *J. of Neurosurg.: Pediatrics.* 2010;6(4):340–345.
29. Santos X. The use of combined ultrasound and magnetic resonance imaging in the detection of fetal anomalies. *Prenatal Diagnosis.* 2010;30(5):402–407.
30. Paladini D. Accuracy of neurosonography and MRI in clinical management of fetuses referred with central nervous system abnormalities. *Ultrasound in Obstetr. and Gyn.* 2014;44(2):188–196.
31. Kul S. Contribution of MRI to ultrasound in the diagnosis of fetal anomalies. *J. of Magnetic Resonance Imaging.* 2012;35(4):882–890.
32. Dhoubi A. Correlation between pre- and postnatal cerebral magnetic resonance imaging. *Ultrasound in Obstetr. and Gyn.* 2011;38(2):170–178.
33. Manganaro L. Fetal MRI of the central nervous system: State-of-the-art. *Europ. J. of Radiol.* 2017;93:273–283.