

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОСМЕРТНОЙ МРТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПЛОДОВ И НОВОРОЖДЕННЫХ

Туманова У.Н.<sup>1</sup>, Серова Н.С.<sup>2</sup>, Щеголев А.И.<sup>1</sup>

**П**осмертная магнитно-резонансная томография (МРТ) считается перспективным методом изучения тел умерших больных. Приведены данные литературы и результаты собственных исследований применения МРТ для анализа изменений головного мозга у погибших плодов, мертворожденных и умерших новорожденных. Отмечено, что посмертная МРТ картина закономерно отличается от характеристик, получаемых при жизни. Подробно описаны особенности МРТ семиотики неспецифических посмертных изменений, определяющие успешное проведение посмертного исследования и выяснение танатогенеза. Отражены преимущества посмертной МРТ при определении линейных характеристик, площадей и объемов отдельных областей и всего головного мозга. Построение 3D изображений существенным образом облегчает проведение последующего аутопсийного исследования. Доказано, что МРТ изображения достаточно достоверно отражают этапы развития головного мозга плода, позволяя определять соответствие его строения гестационному возрасту. Приведены данные, указывающие на высокую эффективность посмертной МРТ для выявления аномалий развития и патологических процессов головного мозга, включая гипоксически-ишемические повреждения и различного вида кровоизлияния. Сделан вывод, что результаты посмертной МРТ нередко могут превосходить возможности патологоанатомического исследования в отношении мацерированных плодов, а также по наглядности и времени получения окончательных результатов. Посмертная МРТ является высокоинформативным методом выявления этапов созревания головного мозга, аномалий развития и различных патологических процессов. Однако посмертная виртопсия не может являться альтернативой аутопсии, поскольку не позволяет проводить гистологическое, микробиологическое и молекулярно-генетическое исследование образцов тканей и органов.

**Ключевые слова:** плод, мертворожденный, аутопсия, виртопсия, магнитно-резонансная томография (МРТ), головной мозг, степень созревания, аномалии развития, гипоксически-ишемические повреждения, кровоизлияние.

Контактный автор: Туманова У.Н., e-mail: u.n.tumanova@gmail.com

*Для цитирования:* Туманова У.Н., Серова Н.С., Щеголев А.И. Применение посмертной МРТ для диагностики поражений головного мозга у плодов и новорожденных. REJR 2017; 7(3):8-22. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-3-8-22.

Статья получена: 30.05.2017

Статья принята: 20.07.2017

## USE OF THE POSTMORTEM MRI FOR THE CEREBRAL LESIONS DIAGNOSIS IN THE FETUSES AND NEWBORNS

Tumanova U.N.<sup>1</sup>, Serova N.S.<sup>2</sup>, Shchegolev A.I.<sup>1</sup>

**P**ostmortem magnetic resonance imaging (MRI) is a promising method for studying the bodies of deceased patients. The literature data and the results of our own researches on the use of MRI for the analysis of brain changes in dead fetuses, stillbirths and deceased babies are pre-sented. Noted that the postmortem MRI picture naturally differs from the characteristics obtained during life. The features of the MRI of semiotics of nonspecific postmortem changes that determine successful postmortem research and the elucidation of tanatogenesis are described in detail. The advantages of postmortem MRI in

1 - ФГБУ «Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2 - ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» (Сеченовский университет).  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия.

1 - Research Center of Obstetrics, Gynecology and Perinatology.

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

determining linear characteristics, areas and volumes of individual regions and the entire brain are shown. Building a 3D image significantly facilitates the subsequent autopsy study. It is proved that MRI images show the stages of fetal brain development sufficiently reliably and allow determining the correspondence of its structure to gestational age. The data indicating the high efficacy of postmortem MRI for identifying abnormalities of development and pathological processes of the brain, including hypoxic-ischemic lesions and various types of hemorrhage, are given. It is concluded that the results of postmortem MRI can often exceed the possibilities of pathoanatomical research with respect to macerated fetuses, as well as for clarity and time of receipt of the final results. Postmortem MRI is a highly informative method for identifying stages of brain maturation, developmental abnormalities and various pathological processes. However, postmortem virtopsy cannot be an alternative to autopsy, since it does not allow histological, microbiological and molecular genetic studies of tissue's and organ's samples.

Keywords: fetus, stillborn, autopsy, virtopsy, magnetic resonance imaging (MRI), brain, degree of maturation, developmental abnormalities, hypoxic-ischemic lesions, hemorrhage.

Corresponding author: Tumanova U.N., e-mail: u.n.tumanova@gmail.com

For citation: Tumanova U.N., Serova N.S., Shchegolev A.I. Use of the postmortem MRI for the cerebral lesions diagnosis in the fetuses and newborns. REJR. 2017; 7 (3):8-22. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-3-8-22.

Received: 30.05.2017

Accepted: 20.07.2017

**В**нутриутробная гибель плода является самым грозным осложнением беременности, а смерть новорожденного – трагедией постнатального периода. По данным Росстата за 2015 год значения показателя перинатальной смертности в Российской Федерации составили 8,29‰, показателя мертворождаемости – 5,87‰ и показателя ранней неонатальной смертности – 2,43‰ [1].

Согласно Федеральному закону «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 № 323-ФЗ, все мертворожденные и новорожденные, умершие в возрасте до 28 дней жизни включительно, подлежат обязательному патологоанатомическому вскрытию. Именно результаты аутопсийного исследования позволяют определить первоначальную и непосредственную причину смерти, а в ряде случаев и прогноз последующих беременностей.

Вместе с тем, патологоанатомическое вскрытие тел погибших плодов, мертворожденных и умерших новорожденных сопряжено с рядом объективных трудностей. Так, выявление звеньев танатогенеза антенатально погибших плодов и мертворожденных ограничено, прежде всего, процессами мацерации и аутолиза [2]. Кроме того, головной мозг плодов и новорожденных характеризуется высоким содержанием воды и полноценное его морфологическое исследование возможно лишь после достаточно продолжительной фиксации в формалине [3].

В этой связи перспективным методом анализа особенностей развития и патологиче-

ских изменений головного мозга, в том числе, как звеньев танатогенеза, несомненно, считается проведение посмертной магнитно-резонансной томографии (МРТ) [4, 5]. Действительно, в основе построения МРТ изображения лежит излучение радиоволн ядрами водорода, содержащимися в различных тканях тела, находящихся в различном химическом окружении. Контрастность тканей на томограммах при МРТ отражает в первую очередь особенности химического строения веществ и зависит от множества факторов, в частности, химических связей между молекулами [6]. Именно поэтому, содержание большого количества молекул воды в ткани головного мозга, особенно в сером веществе, лежит в основе его объективного эффективного анализа [7].

Целью данной работы явился анализ данных литературы и результатов собственных исследований по применению посмертной МРТ для оценки физиологических и патологических изменений головного мозга и определению их роли в танатогенезе плодов и новорожденных.

Известно, что результаты первого посмертного МРТ исследования были опубликованы в 1990 году [8]. На основании анализа тел трех мертворожденных и трех умерших (одного новорожденного и двух взрослых) авторы сделали заключение, что эффективность МРТ сравнима с традиционным аутопсийным исследованием в отношении выраженной патологии органов грудной и брюшной полости, а также головного мозга.

Одним из первых исследований, посвя-

ценных целенаправленному изучению возможностей посмертной МРТ в перинатологии, является работа M.R. Roberts с соавт. [9]. На основании изучения 20 тел погибших плодов на сроках гестации от 14 недель до 20 недель авторы сделали вывод о возможности посмертного МРТ исследования для анализа формирующихся органов плодов с 14 недель гестации. К сожалению, головной мозг в данной работе не исследовался. Вместе с тем, авторы провели сравнительный анализ томограмм, выполненных при регистрации T1 и T2 импульсных последовательностей МРТ исследования, и установили различия интенсивностей (гипо-, гипер-) МРТ сигнала во внутренних органах интактных и фиксированных в формалине тел плодов. Так, легкие плода характеризовались гипоинтенсивным сигналом на T1 взвешенных изображениях (T1ВИ) интактного плода и гиперинтенсивным сигналом после их фиксации в формалине. Печень же, наоборот, имела гиперинтенсивный сигнал при отсутствии предварительной фиксации и гипоинтенсивный – после формалина.

Видимо, это явилось одним из поводов для поиска наиболее оптимальных режимов и параметров МРТ исследования для анализа различных органов и тканей тел погибших. Для полноценного МРТ исследования головного мозга, по мнению большинства авторов [10, 11], недостаточно использования регистрации только T1 импульсной последовательности из-за относительно низкого сигнала и низкой контрастности тканей. Лучшая дифференцировка между серым и белым веществом, а также визуализация их изменений отмечается при регистрации T2 импульсной последовательности, поскольку мозг плодов и детей в возрасте до 2 лет характеризуется повышенным содержанием воды по сравнению с таковым у взрослых [12].

Следует добавить, что качество получаемых МР томограмм зависит от множества факторов, в частности размеров тела и вида используемой катушки. Именно поэтому разрабатываются специальные МРТ катушки для исследования определенных частей тела. При проведении МРТ тел плодов возможно эффективное использование катушки, предназначенной для исследования головы, а для анализа тел умерших новорожденных может применяться раздельное исследование головы и тела. Необходимо также учитывать возможности и ограничения применения МРТ для получения объективной информации о той или иной патологии погибшего плода и умершего новорожденного [13].

Приступая же к анализу томограмм, следует помнить, что посмертная МРТ картина закономерно отличается от характеристик, получаемых при жизни [14]. Так, отсутствие внутрисосудистого давления крови приводит к из-

менению размеров и формы кровеносных сосудов, в том числе головного мозга. В то же время прекращение кровотока сопровождается появлением МР сигнала от крови в просвете сосудов.

Посмертное охлаждение трупа способствует замедлению процессов аутолиза в органах и тканях, включая головной мозг. Но одновременно с этим посмертные изменения приводят к снижению контрастности его структур в T1 и T2 импульсных последовательностях во время посмертной МРТ. По данным M.H. Lequin с соавт. [15], соотношение интенсивности сигнала на T1 и T2-ВИ к «шуму» при посмертном исследовании различных областей головного мозга у погибших новорожденных меньше аналогичных соотношений, полученных у живых новорожденных. При помощи специального программного обеспечения и картирования авторами было рассчитано время релаксации для различных участков мозга при T1 и T2 последовательностях. В результате было выявлено, что значения времени релаксации структур головного мозга при посмертных T1 и T2 исследованиях были выше соответствующих значений, полученных прижизненно. При этом значения времени релаксации при посмертных T1 исследованиях снижались по мере увеличения гестационного возраста. Также было отмечено исчезновение четкой контрастной границы между белым и серым веществом на полученных T1 и T2 ВИ. Однако M.H. Lequin с соавт. [15] отмечают, что последнее явление, а также увеличение интенсивности сигнала белого вещества на T2ВИ, относятся к закономерным посмертным изменениям, которые не следует принимать за прижизненные ишемические процессы.

В этой связи важным залогом успешного проведения посмертного МРТ исследования является знание лучевой семиотики неспецифических посмертных изменений, поскольку их картина может симулировать патологию и наоборот, патологические состояния и процессы, в том числе приведшие к гибели, могут быть пропущены на фоне недооценки выраженности неспецифических посмертных МРТ признаков [16].

К наиболее ранним посмертным изменениям относится развитие трупных гипостазов в различных органах и тканях, обусловленных прекращением кровообращения [17, 18]. Чаще всего трупные гипостазы определяются в легких, оболочках головного мозга, желудке, кишечнике. В отношении головного мозга наиболее характерным проявлением трупных гипостазов является, по нашему мнению, скопление крови преимущественно в задней части сагиттальных синусов головного мозга при условии хранения тела после смерти в положении лежа на спине (рис. 1).

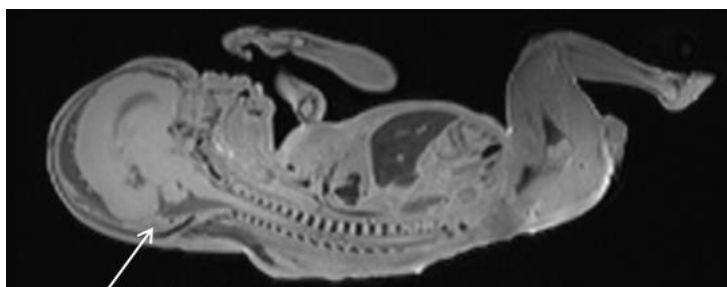


Рис. 1 (Fig. 1).

**Рис. 1. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция.**

Посмертная МР томограмма тела плода, погибшего на 20 неделе гестации. Скопление крови в задней части сагиттального синуса головного мозга (стрелка).

**Fig. 1. MRI. T2 weighted image (WI), sagittal section.**

Postmortem MR image of the antenatal deceased fetus at 20 week of gestational age. Blood accumulation in the back of the sagittal sinus of the brain (arrow).

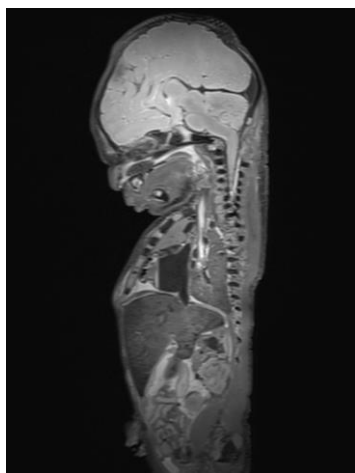


Рис. 2 а (Fig. 2 а).

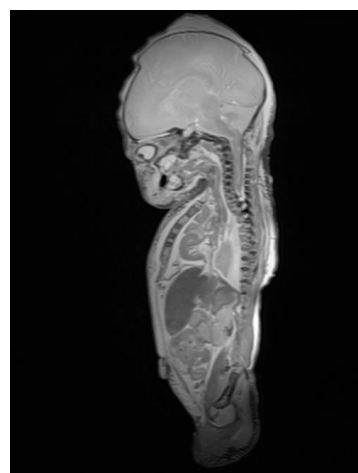


Рис. 2 б (Fig. 2 б).



Рис. 2 в (Fig. 2 с).



Рис. 2 г (Fig. 2 д).

**Рис. 2. Посмертные МР томограммы (T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция) (а, б) и внешний вид во время аутопсии (в, г) тел мацерированных плодов.**

а, в – мертворожденный на сроке гестации 39 недель и давностью внутриутробной гибели 16 часов; б, г – мертворожденный на сроке гестации 32 недель и давностью внутриутробной гибели 48 часов.

**Fig. 2. Postmortem MR images (T2-WI, sagittal section) (a, b) and macroscopic characteristics at autopsy (c, d) of macerated fetuses bodies.**

a, b - stillborn at 39 week of gestational age, the time of intrauterine death 16 hours; c, d - stillborn at 32 week of gestational age, the time of intrauterine death 48 hours.

Характеризуя возможности посмертной виртопии для выявления посмертных изменений у погибших плодов, следует остановиться на процессах мацерации. Выраженность процессов мацерации достаточно четко отражает давность внутриутробной гибели плода, что позволяет использовать их для определения давности наступления смерти [2]. Вместе с тем, развитие процессов мацерации не только значительно затрудняет проведение обычного аутопсийного исследования, но в ряде случаев делает невозможным объективное гистологическое изучение органов и тканей. Так, изменения формы головы и расхождение костей черепа необходимо дифференцировать с родовой травмой.

Развивающиеся в процессе мацерации изменения органов и тканей, несомненно, отражаются и при посмертной МРТ. Вместе с тем, по данным ряда авторов [19], посмертная МРТ оценка изменений органов, обусловленных процессами мацерации, может быть использована для определения давности гибели плода. Нами также были изучены возможности посмертной МРТ (рис. 2 а, б) для оценки выраженности мацерации и времени наступления внутриутробной гибели плода, в результате чего установлена прямая положительная корреляция ( $r=0,94$ ) между рассчитанным МРТ показателем мацерированности головного мозга и давностью гибели плода, установленной при патологоанатомическом вскрытии (рис. 2 в, г) [20]. Однако наиболее точное определение времени смерти возможно, по нашему мнению, путем расчета МРТ показателя мацерированности в ткани почки у мертворожденных с давностью смерти в пределах одной недели [21, 22].

Важным этапом каждого патологоанатомического вскрытия является определение размеров и массы внутренних органов. Прежде всего, подобные характеристики необходимы, для выявления процессов задержки роста плода, а также диагностики гипоплазии органов. Согласно данным литературы [23], в результате посмертной МРТ возможно достаточно четкое определение не только размеров, но и массы органов, в том числе головного мозга.

А.С.G. Breeze с соавт. [24] провели сравнительный анализ объема головного мозга при посмертной МРТ (1,5Т, регистрация Т2 импульсной последовательности) и его массы во время аутопсии у 25 плодов на сроках гестации от 16 недель до 40 недель. Авторы установили высокую корреляцию и уравнение регрессии между массой (М) головного мозга и МРТ значениями его объема ( $V = 0,93 \times M - 1,36$ ), а также определили плотность ( $1,08 \text{ г/см}^3$ ) ткани головного мозга и рассчитали соотношение массы головного мозга к массе печени (4 : 1) у исследованных плодов. Уменьшение такого соотношения

до 3 : 1 свидетельствовало о задержке роста плода [25].

Наряду с возможностью определения линейных характеристик и площади среза головного мозга на том или ином уровне, посмертная МРТ позволяет достаточно точно рассчитать как общий объем головного мозга, так и объемы отдельных его областей и структур. Действительно, использование трехмерной реконструкции томограмм позволило нам провести сравнительный анализ объемов желудочков мозга (рис. 3), а также мозжечка и полушарий головного мозга (рис. 4). Однако при оценке полученных значений и сравнении их с прижизненными показателями следует учитывать, что развитие посмертных процессов, в том числе вышеописанных мацерации и аутолиза, закономерно будет отражаться на размерах структур головного мозга. По данным Е.Н. Whitby с соавт. [26], показатели толщины коры головного мозга, установленные при посмертной МРТ погибшего плода, меньше значений, определяемых при внутриутробной МРТ плода: 1-2 мм по сравнению с 3-5 мм при сроке гестации 34 недели.

Определение размеров структур и отделов головного мозга лежит и в основе диагностики. Так, использование посмертной МРТ позволило нам объективизировать заключение о наличии вентрикуломегалии (рис. 5).

Интересные данные приводят и N.J. Sebire с соавт. [27-35]. Авторы провели сравнительный анализ выявления вентрикуломегалии у плода при прижизненном УЗ и / или МРТ исследовании беременной с результатами посмертной МРТ тела погибшего плода и / или его патологоанатомического вскрытия. На основании размеров задних рогов боковых желудочков головного мозга авторы выделяли три степени выраженности вентрикуломегалии: легкую при диаметре 10-12 мм, умеренную – 12,1-14,9 мм и тяжелую – при диаметре 15 мм и более. Из 16 наблюдений родового выявления вентрикуломегалии при помощи УЗИ в 9 (56%) случаях данный диагноз был подтвержден при посмертном МРТ и/или вскрытии. В остальных 7 наблюдениях вентрикуломегалия как при посмертном МРТ, так и при вскрытии не подтвердилась. Однако в родовом периоде в 6 из 7 данных наблюдений вентрикуломегалия, выявленная при УЗИ, была подтверждена при МРТ исследовании. Необходимо отметить, что в 8 из 9 случаев подтвержденной при посмертных исследованиях вентрикуломегалии имелась тяжелая степень ее развития (задние рога более 15 мм) при родовых исследованиях, тогда как в случаях неподтвержденной вентрикуломегалии ее высокие значения отмечались лишь в 2 из 7 наблюдений. Исходя из результатов, полученных при данном исследовании, можно отме

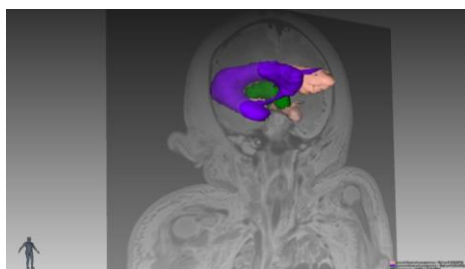


Рис. 3 (Fig. 3).

**Рис. 3. МРТ. Трехмерная реконструкция желудочков головного мозга.**

Посмертная МРТ тела новорожденного, родившегося на 37 неделе гестации и погибшего в возрасте 5 суток и 17 часов. Объем правого бокового желудочка (фиолетовый цвет) – 15,5 см<sup>3</sup>, левого бокового желудочка (розовый цвет) – 15,4 см<sup>3</sup>, третьего желудочка (зеленый цвет) – 2,9 см<sup>3</sup>.

**Fig. 3. MRI. Three-dimensional (3D) reconstruction of the ventricles of the brain.**

Postmortem MRT of the deceased newborn, which born at 37 week of gestational age and died at the age of 5 days and 17 hours. The volume of the right lateral ventricle (violet color) is 15.5 cm<sup>3</sup>, the left lateral ventricle (pink color) is 15.4 cm<sup>3</sup>, the third ventricle (green color) is 2.9 cm<sup>3</sup>.

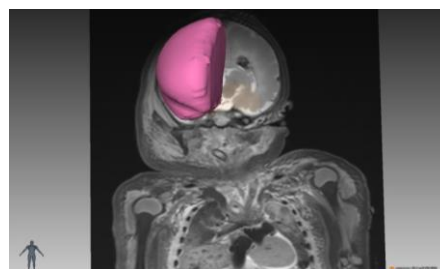


Рис. 4 а (Fig. 4 а).

**Рис. 4 а. МРТ. Трехмерная реконструкция и анализ томограмм.**

Посмертная МРТ тела новорожденного, родившегося на 39 неделе гестации и умершего в возрасте 23 суток 16 часов. Комбинированное изображение 3D реконструкции и 2D томограммы, объем правого полушария (розовый цвет) головного мозга - 173 см<sup>3</sup>.

**Fig. 4 а. MRI. Three-dimensional (3D) reconstruction and analysis of tomograms.**

Postmortem MRT of the deceased newborn, which born at 39 week of gestational age and died at the age of 23 days and 16 hours. Combined image of 3D reconstruction and 2D tomogram. The volume of the right hemisphere (pink color) - 173 cm<sup>3</sup>.

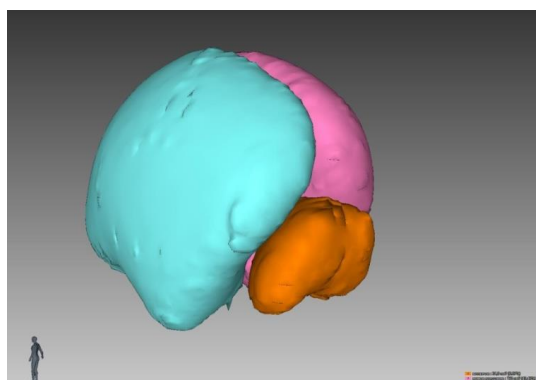


Рис. 4 б (Fig. 4 б).

**Рис. 4 б. МРТ. Трехмерная реконструкция и анализ томограмм.**

Посмертная МРТ тела новорожденного, родившегося на 39 неделе гестации и умершего в возрасте 23 суток 16 часов. Трехмерная реконструкция головного мозга, объем правого полушария (розовый цвет) - 173 см<sup>3</sup>, объем левого полушария (голубой цвет) - 153 см<sup>3</sup>, объем мозжечка (оранжевый цвет) – 24 см<sup>3</sup>

**Fig. 4 б. MRI. Three-dimensional (3D) reconstruction and analysis of tomograms.**

Postmortem MRT of the deceased newborn, which born at 39 week of gestational age and died at the age of 23 days and 16 hours. 3D reconstruction of the brain. The volume of the right hemisphere (pink color) - 173 cm<sup>3</sup>, the volume of the left hemisphere (blue color) - 153 cm<sup>3</sup>, the volume of the cerebellum (orange color) - 24 cm<sup>3</sup>.



Рис. 5 (Fig. 5).

**Рис. 5. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагитальная проекция.**

Посмертная МР томограмма тела плода, погибшего на 21 неделе гестации. Вентрикуломегалия боковых желудочков головного мозга (стрелка).

**Fig. 5. MRI. T2-WI, sagittal section.**

Postmortem MR image of the antenatal deceased fetus at 21 week of gestational age. Enlarged lateral ventricles of the brain (arrow).

титель, что традиционная аутопсия и посмертное МРТ исследования примерно в половине случаев не подтверждают пренатально диагностированную вентрикуломегалию. В этой связи, N.J. Sebire с соавт. [27-35] предупреждают, что посмертное уменьшение размеров боковых желудочков головного мозга может быть обусловлено процессами резорбции жидкости и соответственно является одним из признаков посмертных изменений. То есть при посмертной МРТ диагностике вентрикуломегалии необходимо учитывать «нормальное» посмертное уменьшение размеров желудочков головного мозга.

Немаловажно, что патологические процессы, развивающиеся в головном мозге, в частности, отек, кровоизлияния, некрозы, могут также приводить к изменениям размеров его структур и отделов. В этой связи важной задачей посмертной МРТ является определение степени внутрижелудочкового кровоизлияния, основанной на изменениях их размеров (рис. 6). При этом на наш взгляд, совершенно необходимы рандомизированные исследования по определению посмертных МРТ объемов и размеров отделов нормального непораженного головного мозга.

При сравнении же размеров различных отделов головного мозга, полученных при посмертной МРТ и в результате патологоанатомического вскрытия, необходимо помнить, что морфологическое исследование головного мозга проводится, как правило, после его предварительной фиксации в формалине. В результате того, что ткань мозга плодов и новорожденных содержит большой объем воды и представлена относительно малым количеством клеток, то фиксация в формалине закономерно сопровождается уменьшением прижизненных размеров до 70% [28].

Проведение посмертной МРТ позволяет провести оценку так называемой зрелости головного мозга и определить соответствие его строения гестационному возрасту. МРТ изображения достаточно достоверно отражают этапы развития головного мозга плода и уже в раннем антенатальном периоде позволяют судить об его зрелости. К явным достоинствам посмертной МРТ относят возможность определения процессов миграции нейронов, а также формирования борозд и извилин, в том числе нормальное, что позволяет дифференцировать их с нарушениями формирования коры головного мозга [26]. На МРТ томограммах, полученных при регистрации T2 импульсной последовательности, кора больших полушарий головного мозга плода выглядит в виде узкой полоски гипоинтенсивного сигнала по сравнению с белым веществом. Аналогичные характеристики имеет и герминативный матрикс по сравнению с желудочками мозга.

Из курса эмбриологии известно, что развитие борозд и извилин головного мозга плода должно строго соответствовать сроку гестации и соответственно сроку беременности. Первой появляется теменно-затылочная борозда, она локализуется на медиальной поверхности мозга в виде глубокой щели, распространяясь сверху вниз и впереди. Большая часть этой борозды расположена на медиальной, а меньшая - на латеральной поверхности. Такая теменно-затылочная борозда начинает определяться на 19-20-й неделях гестации и всегда должна визуализироваться на 22-23-й неделях. На МР томограммах, по нашему мнению, она несколько лучше определяется в аксиальной и сагиттальной плоскостях (рис. 7а).

Практически одновременно с теменно-затылочной бороздой на 19-20-й неделях гестации начинает, а на 22-23-й неделях всегда должна наблюдаться борозда птичьей шпоры. Локализуется она на медиальной поверхности затылочной доли, начинаясь от медиальной части теменно-затылочной борозды и распространяясь кзади по направлению к полюсу затылочной доли (рис. 7б). Иногда более четко она видна в коронарной плоскости МРТ исследования.

На 24-25-й неделях гестации может появляться, а на сроке 28-29 недель всегда должна визуализироваться поясная борозда, локализуемая на медиальной поверхности полушарий большого мозга параллельно клюву, колену и стволу мозолистого тела (рис. 7б). Передние отделы поясной извилины лучше изучать в аксиальной плоскости, а отделы, расположенные параллельно стволу мозолистого тела, - в коронарной проекции.

Согласно данным литературы [26], использование посмертной МРТ головного мозга плодов и новорожденных позволяет не только определить степень формирования борозд и извилин, но и выявить нарушения созревания и развития головного мозга: задержку формирования борозд, изменения толщины коры, формы и ширины борозд, нарушения ламинарного строения полушарий большого мозга, субэпендимальные узлы, расщелины коры, изменения формы желудочков мозга.

Перивентрикулярная (субэпендимальная) гетеротопия, относящаяся к нарушениям миграции нейронов, характеризуется наличием узлов серого вещества вдоль стенок боковых желудочков головного мозга. Помимо нарушений миграции ее развитие также связано с дисрегуляцией процессов пролиферации и апоптоза клеток герминативного матрикса. При МРТ исследовании на T2 ВИ она выявляется в виде субэпендимальных очагов с гипоинтенсивным сигналом, аналогичным интенсивности сигналу ткани, расположенной вдоль краев боковых желудочков. При проведении дифферен-



Рис. 6 (Fig. 6).

**Рис. 6. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция.**

Посмертная МР томограмма тела новорожденного, родившегося на 37 неделе гестации и умершего в возрасте 5 суток 7 часов. Кровоизлияние в стенки и полость боковых желудочков головного мозга (стрелка).

**Fig. 6. MRI. T2-WI, sagittal section.**

Postmortem MR image of the deceased newborn, which born at 37 week of gestational age and died at the age of 5 days and 7 hours. Hemorrhage into the wall and cavity of the lateral ventricles of the brain (arrow).

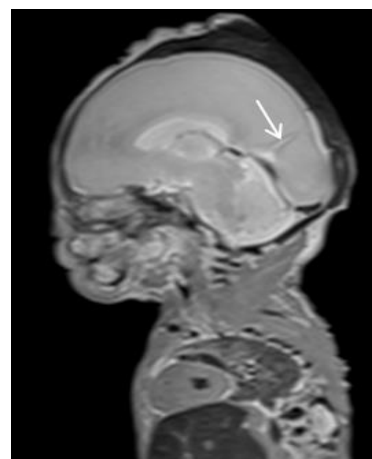


Рис. 7 а (Fig. 7 а).

**Рис. 7 а. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция.**

Посмертная МР томограммы плода, погибшего на 24 неделе гестации. Наличие теменно-затылочной борозды головного мозга (стрелка)

**Fig. 7 а. MRI. T2-WI, sagittal section.**

Postmortem MR images of the antenatal deceased fetus at 24 week of gestational age. Sulcus parietooccipitalis of the brain (arrow).

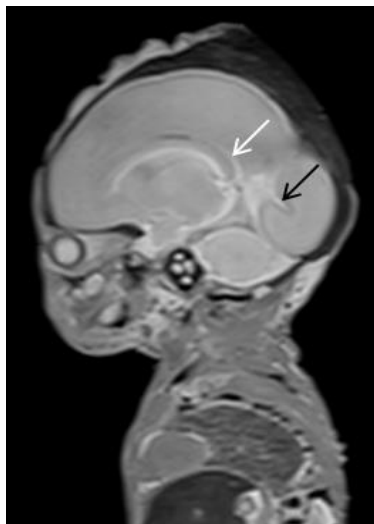


Рис. 7 б (Fig. 7 б).

**Рис. 7 б. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция.**

Посмертная МР томограммы плода, погибшего на 24 неделе гестации. Наличие борозды птичьей шпоры (черная стрелка) и поясной борозды (белая стрелка).

**Fig. 7 б. MRI. T2-WI, sagittal section.**

Postmortem MR images of the antenatal deceased fetus at 24 week of gestational age. Sulcus calcarinus (black arrow) and sulcus cinguli (white arrow).

циальной диагностики очагов перивентрикулярной гетеротопии от герминативного матрикса следует помнить, что последний увеличивается в объеме с 8-й по 26-ю неделю гестации, затем после 27-й недели он постепенно уменьшается и практически исчезает к моменту рождения. Перивентрикулярная гетеротопия определяется, как правило, и в течение III триместра беременности. Субэпендимальные кровоиз-

лияния, в свою очередь, имеют вид очагов гиперинтенсивного сигнала на T1 ВИ и гипоинтенсивного сигнала на T2 ВИ.

МРТ считается также весьма эффективным методом диагностики лиссэнцефалии путем визуализации гладкого головного мозга и широкой аномально ориентированной сильвиевой борозды у плода на 22-25-й неделях гестации. При лиссэнцефалии I типа форма головно-



го мозга напоминает цифру 8, борозды отсутствуют. В случае неполной лиссэнцефалии определяются зоны агирии и пахигирии. При этом отсутствует нормальное трехслойное строение (герминативный матрикс, промежуточная зона белого вещества, кора) полушарий большого мозга. В то же время на МР томограммах могут выявляться сочетанные аномалии головного мозга, в частности, агенезия мозолистого тела, аномалии мозжечка и/или ствола мозга.

Отсутствие на томограммах трехслойного строения головного мозга до 29-й недели гестации, а также двухслойного (белое вещество и кора) его строения с 30-й недели свидетельствует в пользу полимикрогирии, для которой характерно наличие гипопластического участка на T2-ВИ, расположенного от коры до субэпендимальных отделов мозга. При морфологическом исследовании полимикрогирия, относящаяся к редким аномалиям кортикального развития, характеризуется формированием множественных мелких извилин, истончением коры мозга, а также изменениями подлежащего субкортикального и субэпендимального белого вещества. Выявление же при МРТ расщелин, покрытых серым веществом и сообщающихся с боковыми желудочками и субарахноидальным пространством, говорит о шизэнцефалии.

Посмертная МРТ является весьма эффективной и для диагностики голопрозэнцефалии [7, 29]. Последняя представляет собой сложную аномалию головного мозга, возникающую вследствие неполного разделения прозэнцефалона на правую и левую гемисферы и характеризующуюся «слиянием» таламусов, наличием одного желудочка в виде подковы и отсутствием межполушарной щели, мозолистого тела и прозрачной перегородки.

Говоря об аномалиях развития головного мозга, следует подчеркнуть, что именно благодаря посмертной МРТ, P.D. Griffiths с соавт. [29] установили роль задней черепной ямки в развитии аномалии Хиари (Chiari) в наблюдениях spina bifida. При изучении тел плодов авторы выявили существенные различия в сроках и темпах роста различных отделов головного мозга. Так, увеличение размеров мозжечка отмечалось спустя 3 недели после начала роста самого мозга и костей задней черепной ямки. При этом начало усиленного роста костей задней черепной ямки начиналось примерно на сроке 12 недель гестации и происходило в 2,5 раза быстрее увеличения размеров червя мозжечка. Кости супратенториальной области растут примерно также как и сами полушария головного мозга. То есть увеличение размеров задней черепной ямки происходит раньше и в большей степени, чем мозжечка. В этой связи выявление у плода несоответствия размеров мозжечка и задней черепной ямки следует трактовать как

нормальный этап развития головного мозга, а не гипоплазию мозжечка плода. Существенным моментом является то, что проведение посмертной МРТ позволяет выявить признаки нарушения строения и повреждения ткани головного мозга даже в тех случаях, когда морфологическое его исследование было невозможно из-за выраженных явлений аутолиза. Более того, по мнению некоторых авторов [30], возможности посмертной МРТ всегда превосходят потенциал традиционного морфологического исследования головного и спинного мозга при анализе врожденных пороков развития и поражений центральной нервной системы плода и новорожденного.

Так, J.A.S. Brookes с соавт. [31] в результате анализа 20 плодов и мертворожденных установили полное совпадение данных МРТ и с результатами аутопсийного исследования в 8 наблюдениях. В 8 случаях во время вскрытия было выявлено несколько больше патологических процессов по сравнению с МРТ. Однако у 4 плодов посмертная МРТ предоставила больше информации, чем было отмечено во время аутопсии. При этом в 2 наблюдениях речь шла о поражении головного мозга: венрикуломегалии и двустороннем внутрижелудочковом кровоизлиянии. Кроме того, в результате МРТ в отличие от вскрытия были также выявлены гидроперикард при водянке плода и правосторонний гидроторакс при левосторонней диафрагмальной грыже.

Исследование P.D. Griffiths с соавт. [7] было посвящено сравнительному анализу данных посмертной МРТ и результатов аутопсийного исследования головного мозга 40 плодов и мертворожденных. К сожалению, в 8 наблюдениях морфологическое изучение осталось не законченным из-за выраженных явлений аутолиза. В 28 из 32 наблюдений имелось полное совпадение результатов МРТ и морфологического исследования: в 11 случаях диагностировано нормальное строение и в 17 патологические изменения. В результате МРТ были выявлены венрикуломегалия (в 4 наблюдениях), миеломенингецеле в сочетании с мальформацией Киари (Chiari) 2 типа (4), мальформация Денди-Уокера (Dandy-Walker) (3), голопрозэнцефалия (2), диастематомиелия (1), гипоксически-ишемическое поражение (1), а также разрыв артериовенозной мальформации (1) и кровоизлияние в зародышевый матрикс (1). Более того, в 4 наблюдениях в результате МРТ были выявлены изменения, отсутствующие в патологоанатомических заключениях: париетальное энцефалоцеле с дисплазией коры лобной доли, венрикуломегалия со стенозом силвиева водопровода, мальформация Денди-Уокера (Dandy-Walker). При этом имелось лишь одно наблюдение гипердиагностики - кольпоцефалия.

Выявление при посмертной МРТ аномалий головного мозга, в частности мальформаций Киари и Денди-Уокера, и наглядное их представление на томограммах (рис. 8, 9) существенным образом облегчает последующее макроскопическое изучение головного мозга при проведении аутопсии. Вместе с тем, посмертное выявление и анализ внутримозговых сосудистых мальформаций целесообразно проводить и при помощи компьютерной томографии с введением контрастного препарата [32]. Именно такое КТ исследование позволяет получить практически прижизненную картину состояния и взаимоотношения кровеносных сосудов.

Важным моментом аутопсийного исследования является выявление так называемых гипоксически-ишемических повреждений головного мозга, являющихся нередко причиной смерти. В основе прижизненной МРТ диагностики таких повреждений у новорожденных лежит, согласно данным литературы [33, 34], отсутствие нормального сигнала высокой интенсивности в задней ножке внутренней капсулы, аномальной интенсивности сигнала в базальных ганглиях, исчезновение градиента между серым и белым веществом и наличие очаговых поражений коры и/или очаговых и диффузных поражений белого вещества. Однако окончательная верификация конкретной формы гипоксически-ишемических повреждений головного мозга возможна лишь при комплексном морфологическом изучении головного мозга. По нашему мнению, это наиболее актуально для диагностики перивентрикулярной и диффузной лейкомаляции (рис. 10).

По мнению R.M. Nicholl с соавт. [35], проведение посмертной МРТ также позволяет диагностировать гипоксически-ишемические повреждения головного мозга. Подобное заключение было сделано на основании изучения 6 тел умерших новорожденных. Однако гистологическая верификация выявленных при МРТ изменений была проведена лишь в одном наблюдении, что свидетельствует об отсутствии объективности исследования. В другом исследовании [36], указывающем на возможность посмертной МРТ диагностики гипоксически-ишемических повреждений головного мозга, отсутствовала контрольная группа, т.е. наблюдения новорожденных, умерших без признаков ишемического поражения головного мозга.

В этой связи более убедительным выглядит сравнительное МРТ исследование тел 7 новорожденных, погибших от гипоксически-ишемической энцефалопатии, и 7 наблюдений внезапной неонатальной смерти [37]. При помощи 1,5Т томографа авторы провели анализ 19 областей головного мозга, в которых наиболее часто выявляются признаки энцефалопатии в неонатальном периоде. В каждом участке бы-

ли измерены коэффициенты диффузии, соотношения интенсивности сигнала при T1 последовательности с сигналом от стекловидного тела и T2 время релаксации. Верификацию гипоксически-ишемических повреждений осуществляли путем микроскопического изучения препаратов головного мозга. В результате визуальной оценки и определения количественных МРТ показателей авторы установили потерю или снижение градиента между серым и белым веществом, наличие высоко интенсивного сигнала в задней ножке внутренней капсулы на T1 ВИ и сигнала высокой интенсивности в белом веществе мозга на T2 ВИ. Вместе с тем, полученные количественные МРТ показатели головного мозга не имели значимых различий у новорожденных, умерших в результате гипоксически-ишемических повреждений головного мозга и при их отсутствии. Примечательно, что авторы сами приводят ряд возможных причин неудовлетворительной диагностики. Это и малый объем выборки, и достаточно большой интервал времени между констатацией смерти и проведением посмертной МРТ, и отсутствие сопоставлений результатов МРТ с выраженностью морфологических изменений. На фоне этого они отмечают и предостерегают о вероятности ошибочного принятия естественных посмертных изменений за прижизненные ишемические изменения ткани головного мозга [37].

Как мы отмечали, посмертная МРТ позволяет выявлять и четко документировать степень и стадию внутрижелудочкового кровоизлияния. Наряду с этим, достаточно хорошо выявляются и другие виды внутричерепных кровоизлияний: субдуральные, субарахноидальные (рис. 11), внутримозговые (рис. 12). Хотя небольшие участки кровоизлияний могут быть неразличимы из-за сопутствующего им отека головного мозга. Вместе с тем, МРТ позволяет в определенной степени судить и о давности кровоизлияния по степени преобразования гемоглобина в гемосидерин, что имеет особое значение при судебно-медицинском исследовании.

Таким образом, в заключение следует отметить, что проведение посмертной МРТ позволяет провести четкий и достаточно полный анализ состояния головного мозга у погибших плодов и умерших новорожденных. Результаты посмертной МРТ нередко превосходят возможности традиционного аутопсийного исследования в отношении мацерированных плодов, а также по наглядности и времени получения окончательных результатов. Посмертная МРТ является высокоинформативным методом выявления этапов созревания головного мозга, аномалий развития и различных патологических процессов. Вместе с тем, посмертная виртопсия не может в полной мере являться альтернативой патологоанатомического вскрытия, поскольку

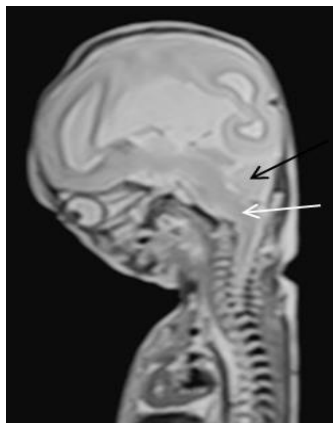


Рис. 8 (Fig. 8).

**Рис. 8. МРТ. T2 взвешенное изображение, сагиттальная проекция.**

Посмертная МР томограмма плода, погибшего на 20 неделе гестации. Синдром Арнольда Киари (мальформация Киари 2 типа). Смещение задних отделов продолговатого мозга (белая стрелка) и мозжечка (черная стрелка) в сторону большого затылочного отверстия, выраженная гидроцефалия.

**Fig. 8. MRI. T2-WI, sagittal section.**

Postmortem MR image of the antenatal deceased fetus at 20 week of gestational age. Arnold-Chiari Syndrome (Chiari malformation type 2). Displacement of the posterior parts of the medulla oblongata (white arrow) and the cerebellum (black arrow) towards the large occipital foramen, hydrocephalus.



Рис. 9 (Fig. 9).

**Рис. 9. МРТ. T2 взвешенное изображение, поворот головы на правый бок: сагиттальная проекция тела и фронтальная проекция головы.**

Посмертная МРТ плода погибшего на 20 неделе гестации. Синдром Денди-Уокера. Киста задней черепной ямки, заполненная ликвором (белая стрелка), недоразвитие структур мозжечка (черная стрелка).

**Fig. 9. MRI. T2-WI, the head is turned to the right side: the sagittal section of the body and the frontal section of the head.**

Postmortem MR image of the antenatal deceased fetus at 20 week of gestational age. Dandy-Walker Syndrome. Cyst of the fossa cranii posterior, which is filled with cerebrospinal fluid (white arrow), hypoplasia of the cerebellum structures (black arrow).



Рис. 10 а (Fig. 10 а).

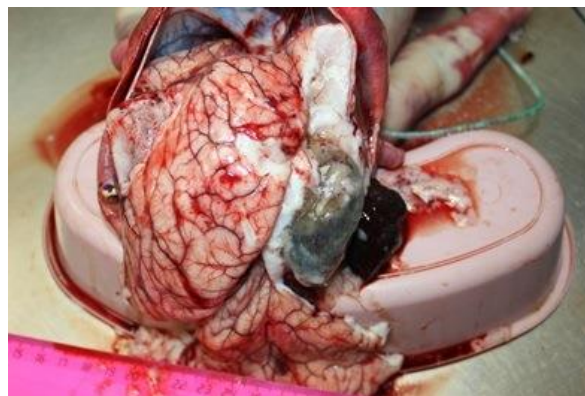


Рис. 10 б (Fig. 10 б).

**Рис. 10. Посмертная МРТ (T2 взвешенное изображение, фронтальная проекция) (а) и внешний вид головного мозга на аутопсии (б) новорожденного, родившегося на 27 неделе гестации и умершего в возрасте 60 дней.**

Перивентрикулярная лейкомаляция (стрелки).

**Fig. 10. Postmortem MR images (T2-WI, frontal section) (а) and macroscopic characteristics of brain at autopsy (б) of the deceased newborn, which born at 27 week of gestational age and died at the age of 60 days.**

Periventricular leukomalacia (arrows).



Рис. 11 а (Fig. 11 а).

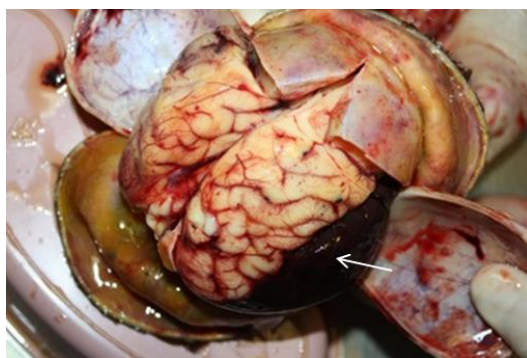


Рис. 11 б (Fig. 11 б).

**Рис. 11.** Посмертная МРТ (Т2 взвешенное изображение, поворот головы на правый бок: сагиттальная проекция тела и фронтальная проекция головы) (а) и внешний вид головного мозга на аутопсии (б) тела новорожденного, родившегося на 33 неделе гестации и умершего в возрасте 3 дня 4 часа.

Субарахноидальное кровоизлияние справа (стрелка), внутримозговое кровоизлияние слева (пунктирная стрелка).

а – посмертная МРТ головы. При исследовании голова новорожденного повернута на правый бок. На полученной томограмме голова во фронтальной проекции, а тело – в сагиттальной;

б – внешний вид головного мозга на аутопсии.

**Fig. 11.** Postmortem MR images (T2-WI. The head is turned to the right side: the sagittal section of the body and the frontal section of the head.) (а) and macroscopic characteristics of brain at autopsy (б) of the deceased newborn, which born at 33 week of gestational age and died at the age of 3 days and 4 hours.

Subarachnoid hemorrhage on the right (arrow), intracerebral hemorrhage on the left (dotted arrow).

а – postmortem head MRI. During the investigation the head of a newborn turned to the right. In the picture the head is in the frontal projection, the body – in sagittal projection.

б – external view of the brain at the autopsy.



Рис. 12 а (Fig. 12 а).

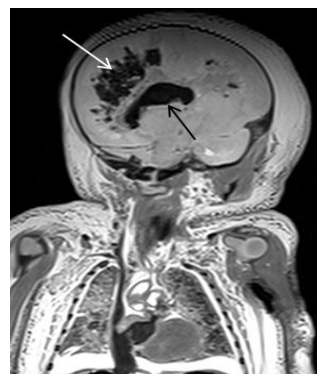


Рис. 12 б (Fig. 12 б).

**Рис. 12.** МРТ. а – T1 взвешенное изображение, б – T2 взвешенное изображение.

Посмертные МР томограммы новорожденного, рожденного на 33 неделе гестации и умершего в возрасте 7 дней 14 часов. При исследовании голова новорожденного повернута на левый бок. На полученных томограммах голова в сагиттальной проекции, тело – во фронтальной. Внутримозговое кровоизлияние в теменно-затылочной области головного мозга (белая стрелка) и бокового желудочка справа (черная стрелка).

**Fig. 12.** MRI. а – T1-WI, б – T2-WI.

Postmortem MR images of the deceased newborn, which born at 33 week of gestational age and died at the age of 7 days and 14 hours. In the study, the head of the newborn is turned to the left side. On the received tomograms, the head is in the sagittal section, the body in the frontal section. Intracerebral hemorrhage in the parietooccipital region of the brain (white arrow) and hemorrhage into the right lateral ventricle (black arrow).

не позволяет проводить гистологическое, микробиологическое и молекулярно-генетическое исследование образцов тканей и органов. По нашему мнению, полученные во время МРТ данные следует использовать в качестве своеобразного гида для лучшего выявления патологии во время аутопсии.

#### **Источник финансирования и конфликт интересов.**

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

сообщить.

**Исследование одобрено комитетом по этике ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова” Минздрава России (протокол № 25 от 22.06.2012).**

**Авторы выражают признательность профессору Д.Н. Дегтяреву и сотрудникам отделения лучевой диагностики НЦАГиП им. В.И. Кулакова за помощь в проведении МРТ исследований.**

#### **Список литературы:**

1. Щеголев А.И., Туманова У.Н., Шувалова М.П. Роль хориоамнионита в генезе мертворождения. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2017; 2 (2): 205-209.
2. Павлов К.А., Дубова Е.А., Бурдули Г.М., Талалаев А.Г., Щеголев А.И. Мацерация плода. *Акушерство и гинекология.* 2012; 2: 115-119.
3. Власюк В.В. Патология головного мозга у новорожденных и детей раннего возраста. М., Логосфера, 2014.
4. Thayyil S., De Vita E., Sebire N.J., Bainbridge A., Thomas D., Gunny R., Chong K., Lyth-goe M.F., Golay X., Robertson N.J., Cady E.B., Taylor A.M. Post-mortem cerebral magnetic resonance imaging T1 and T2 in fetuses, newborns and infants. *European Journal of Radiology.* 2012; 81: e232– e238. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.01.105
5. Щеголев А.И., Туманова У.Н. Роль магнитно-резонансной томографии в определении танатогенеза. *Криминалистика – прошлое, настоящее, будущее: достижения и перспективы развития.* 2014; 369-372.
6. *Магнитно-резонансная томография (руководство для врачей).* Под ред. Труфанова Г.Е., Фокина В.А. СПб., ООО «Издательство Фолиант», 2007.
7. Griffiths P.D., Variend D., Evans M., Jones A., Wilkinson I.D., Paley M.N.J. et al. Postmortem MR imaging of the fetal and stillborn central nervous system. *Am. J. Neuroradiol.* 2003; 24: 22-27.
8. Ros P.R., Li K.C., Vo P., Baer H., Staab E.V. Preautopsy magnetic resonance imaging: initial experience. *Magn. Reson. Imaging.* 1990; 8: 303-308.
9. Roberts M.D., Lange R.C., McCarthy S.M. Fetal anatomy with magnetic resonance imaging. *Magn. Reson. Imaging.* 1995; 13: 645-649.
10. Woodward P.J., Sohaey R., Harris D.P., Jackson G.M., Klatt E.C., Alexander A.L. et al. Postmortem fetal MR imaging: comparison with findings at autopsy. *Obstet. Gynecol. Surv.* 1997; 52: 474-475. DOI: 10.2214/ajr.168.1.8976917
11. Breeze A., Cross J., Hackett G., Jessop F., Joubert I., Lomas D. et al. Use of a confidence scale in reporting postmortem fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2006; 28: 918-924. DOI: 10.1002/uog.3886
12. Papadopoulou I., Sebire N., Shelmerdine S., Bower S., Arthurs O. Post mortem imageguided biopsy for less-invasive diagnosis of congenital intracranial teratoma. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2015; 46: 741-743. DOI: 10.1002/uog.14903
13. Туманова У.Н., Щеголев А.И. Возможности и ограничения виртуальной аутопсии в неонатологии. *REJR.* 2017; 7 (1): 20-33. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-1-20-33
14. Туманова У.Н., Щеголев А.И. Посмертная магнитно-резонансная томография плодов и новорожденных. *Медицинская визуализация.* 2015; 5: 128-136.
15. Lequin M.H., Huisman T.A. Postmortem MR imaging in the fetal and neonatal period. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 2012; 20 (1): 129-143. DOI: 10.1016/j.mric.2011.08.008.
16. Туманова У.Н., Щеголев А.И. Лучевая визуализация неспецифических посмертных изменений сердечно-сосудистой системы. *Судебно-медицинская экспертиза.* 2016; 5: 59-63. DOI: 10.17116/sudmed2016595559-63.
17. Noriko T. Immunohistochemical studies on postmortem lividity. *Forensic Sci. Int.* 1995; 72 (3): 179-189. DOI: 10.1016/0379-0738(95)01702-k
18. Туманов Э.В., Кильдюшов Е.М., Соколова З.Ю. Судебно-медицинская танатология. Судебная медицина и судебно-медицинская экспертиза: национальное руководство. под ред. Ю. И. Пиголкина. М., ГЭОТАР-Медиа, 2014. С. 449-472.
19. Lally P.J., Arthurs O., Addison S., Alavi A., Sebire N.J., Taylor A. et al. Estimating maceration severity using whole body magnetic resonance T2 relaxometry. *Arch. Dis. Child. Fetal. Neonatal.* 2014; 99 (Suppl. 1): A92-A93. DOI: 10.1136/archdischild-2014-306576.264
20. Tumanova U., Lyapin V., Voevodin S., Shchegolev A., Sukhikh G. Postmortem MRI to determine the time of intra uterine fetal death. *Virchows Arch.* 2015; 467 (Suppl. 1): S27.
21. Voevodin S.M. Tumanova U.N., Liapin V.M., Shchegolev A.I., Sukhikh G.T. Post-mortem MRI as a method of evaluating the degree of maceration at intrauterine fetal death. *Insights Imaging.* 2016; 7 (Suppl. 1): S354.
22. Туманова У.Н., Быченко В.Г., Ляпин В.М., Воеводин С.М., Щеголев А.И., Сухих Г.Т. Способ определения давности внутриутробной гибели мертворожденного. Патент на изобретение RU 2572157 18.03.2015.
23. Votino C., Verhoye M., Segers V., Cannie M., Bessieres B., Cos T. et al. Fetal organ weight estimation by postmortem high-field magnetic resonance imaging before 20 weeks' gestation. *Ultrasound. Obstet. Gynecol.* 2012; 39: 673-678. DOI: 10.1002/uog.11151
24. Breeze A.C.G., Gallagher F.A., Lomas D.J., Smith G.C.S., Lees C.C. for the Cambridge post-mortem MRI study group. Postmortem fetal organ volumetry using magnetic resonance imaging and comparison to organ weights at conventional autopsy. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 31: 187-193. DOI:

10.1002/uog.5199

25. Mitchell M.L. Fetal brain to liver weight ratio as a measure of intrauterine growth retardation: analysis of 182 stillborn autopsies. *Mod. Pathol.* 2001; 14: 14-19. DOI: 10.1038/modpathol.3880251

26. Whitby E.H., Paley M.N., Cohen M., Griffiths P.D. Post-mortem fetal MRI: What do we learn from it? *Eur. J. Radiol.* 2006; 57: 250-255. DOI: 10.1016/j.ejrad.2005.11.024

27. Sebire N.J., Miller S., Jacques T.S., Taylor A.M., Rennie J.M., Kendall G. et al. Post-mortem apparent resolution of fetal ventriculomegaly: evidence from magnetic resonance imaging. *Prenat Diagn.* 2013; 33: 360-364. DOI: 10.1002/pd.4065

28. Kretschmann H.-J. Brain growth. *Bibliotheca Anatomica Number 28.* Basel (Switzerland): Karger Publishers; 1986.

29. Griffiths P.D., Wilkinson I.D., Variend S., Jones A., Paley M.N., Whitby E. Differential growth rates of the cerebellum and posterior fossa assessed by post-mortem magnetic resonance imaging of the fetus: implications for the pathogenesis of the Chiari 2 deformity. *Acta Radiol.* 2004; 45: 236-242.

30. Huisman T.A. Magnetic resonance imaging: an alternative to autopsy in neonatal death? *Semin. Neonatol.* 2004; 9: 347-353. DOI: 10.1016/j.siny.2003.09.004

31. Brookes J.A.S., Hall-Craggs M.A., Sams V.R., Lees W.R. Non-invasive perinatal necropsy by magnetic resonance imaging. *Lancet.* 1996; 348: 1139-1141. DOI: 10.1016/S0140-6736(96)02287-8

32. Туманова У.Н., Ляпин В.М., Буров А.А., Подуровская Ю.А., Зарецкая Н.В., Быченко В.Г., Козлова А.В., Щеголев

А.И. VACTERL ассоциация у новорожденного: посмертная КТ и МРТ визуализация при патологоанатомическом исследовании. *REJR* 2017; 7 (2): 191-208. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-2-191-208.

33. Rutherford M.A., Pennock J.M., Counsell S.J., Mercuri E., Cowan F.M., Dubowitz L.M. et al. Abnormal magnetic resonance signal in the internal capsule predicts poor neurodevelopmental outcome in infants with hypoxic-ischemic encephalopathy. *Pediatrics* 1998; 102: 323-328.

34. Rutherford M.A., Pennock J.M., Schwieso J.E., Cowan F.M., Dubowitz L.M. Hypoxic ischaemic encephalopathy: early magnetic resonance imaging findings and their evolution. *Neuropediatrics* 1995; 26: 183-191. DOI: 10.1055/s-2007-979751

35. Nicholl R.M., Balasubramaniam V.P., Urquhart D.S., Selathurai N., Rutherford M.A.C. Postmortem brain MRI with selective tissue biopsy as an adjunct to autopsy following neonatal encephalopathy. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2007; 11: 167-174. DOI: 10.1016/j.ejpn.2006.12.004

36. Cohen M., Whitby E.H. The use of magnetic resonance in the hospital and coronal pediatric postmortem examination. *Forensic Sci. Med. Pathol.* 2007; 3: 289-296. DOI: 10.1007/s12024-007-9017-5

37. Montaldo P., Chaban B., Lally P.J., Sebire N.J., Taylor A.M., Thayyil S. Quantification of ante-mortem hypoxic ischemic brain injury by post-mortem cerebral magnetic resonance imaging in neonatal encephalopathy. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2015; 19: 665-671. DOI: 10.1016/j.ejpn.2015.07.006

## References:

1. Shchegolev A.I., Tumanova U.N., Shuvalova M.P. The role of chorioamnionitis at the cause of stillbirth. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* 2017; 2 (2): 205-209 (in Russian).

2. Pavlov K.A., Dubova E.A., Burduli G.M., Talalayev A.G., Shchegolev A.I. Fetal maceration. *Obstetrics and gynecology.* 2012; 2: 115-119 (in Russian).

3. Vlasuk V.V. Pathology of the brain in newborns and young children. *M., Logosfera.* 2014 (in Russian).

4. Thayyil S., De Vita E., Sebire N.J., Bainbridge A., Thomas D., Gunny R., Chong K., Lythgoe M.F., Golay X., Robertson N.J., Cady E.B., Taylor A.M. Post-mortem cerebral magnetic resonance imaging T1 and T2 in fetuses, newborns and infants. *European Journal of Radiology.* 2012; 81: e232- e238. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.01.105

5. Shchegolev A.I., Tumanova U.N. Role of magnetic resonance imaging in tanatogenesis determining. *Kriminalistika - proshloe, nastojashchee, budushchee: dostizheniya i perspektivy razvitiya.* M., 2014. P. 369-372 (in Russian)

6. Magnetic resonance tomography (manual for physicians). Eds. Trufanov G.E., Fokin V.A. SPb., OOO «Izdatel'stvo Foliant», 2007 (in Russian).

7. Griffiths P.D., Variend D., Evans M., Jones A., Wilkinson I.D., Paley M.N.J. et al. Post-mortem MR imaging of the fetal and stillborn central nervous system. *Am. J. Neuro-radiol.* 2003; 24: 22-27.

8. Ros P.R., Li K.C., Vo P., Baer H., Staab E.V. Preautopsy magnetic resonance imaging: initial experience. *Magn. Reson. Imaging.* 1990; 8: 303-308.

9. Roberts M.D., Lange R.C., McCarthy S.M. Fetal anatomy with

magnetic resonance imaging. *Magn. Reson. Imaging.* 1995; 13: 645-649.

10. Woodward P.J., Sohaey R., Harris D.P., Jackson G.M., Klatt E.C., Alexander A.L. et al. Postmortem fetal MR imaging: comparison with findings at autopsy. *Obstet. Gynecol. Surv.* 1997; 52: 474-475. DOI: 10.2214/ajr.168.1.8976917

11. Breeze A., Cross J., Hackett G., Jessop F., Joubert I., Lomas D. et al. Use of a confidence scale in reporting postmortem fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2006; 28: 918-924. DOI: 10.1002/uog.3886

12. Papadopoulou I., Sebire N., Shelmerdine S., Bower S., Arthurs O. Post mortem image-guided biopsy for less-invasive diagnosis of congenital intracranial teratoma. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2015; 46: 741-743. DOI: 10.1002/uog.14903.

13. Tumanova U.N., Shchegolev A.I. Possibilities and limitations of virtual autopsy in neonatology. *REJR.* 2017; 7 (1): 20-33. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-1-20-33 (in Russian).

14. Tumanova U.N., Shchegolev A.I. Postmortem magnetic resonance tomography of fetuses and newborns. *Medicinskaja vizualizacija.* 2015; 5: 128-136 (in Russian)

15. Lequin M.H., Huisman T.A. Postmortem MR imaging in the fetal and neonatal period. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 2012; 20 (1): 129-143. DOI: 10.1016/j.mric.2011.08.008.

16. Tumanova U.N., Shchegolev A.I. Radiation diagnosis of non-specific postmortem changes in the cardiovascular system. *Sudebno-medicinskaja jekspertiza.* 2016; 5: 59-63. DOI: 10.17116/sudmed2016595559-63 (in Russian).

17. Noriko T. Immunohistochemical studies on postmortem lividity. *Forensic Sci. Int.* 1995; 72(3): 179-189. DOI: 10.1016/0379-0738(95)01702-k

18. Tumanov Je.V., Kil'd-jushov E.M., Sokolova Z.Ju. Medico-legal thanatology. *Sudebnaja medicina i sudebno-medicinskaja jekspertiza: nacional'noe rukovodstvo*. Ed. Ju. I. Pigolkina. M., GJeOTAR-Media, 2014. P. 449-472 (in Russian).
19. Lally P.J., Arthurs O., Addison S., Alavi A., Sebire N.J., Taylor A. et al. Estimating maceration severity using whole body magnetic resonance T2 relaxometry. *Arch. Dis. Child. Fetal. Neonatal*. 2014; 99 (Suppl. 1): A92-A93. DOI: 10.1136/archdischild-2014-306576.264
20. Tumanova U., Lyapin V., Voevodin S., Shchegolev A., Sukhikh G. Postmortem MRI to determine the time of intra uterine fetal death. *Virchows Arch*. 2015; 467 (Suppl. 1): S27.
21. Voevodin S.M. Tumanova U.N., Liapin V.M., Shchegolev A.I., Sukhikh G.T. Post-mortem MRI as a method of evaluating the degree of maceration at intrauterine fetal death. *Insights Imaging*. 2016; 7 (Suppl. 1): S354.
22. Tumanova U.N., Bychenko V.G., Lyapin V.M., Voevodin S.M., Shchegolev A., Sukhikh G. A method of determining the statute of limitations of fetal death stillbirth. Patent RUS 2572157 18.03.2015 (in Russian).
23. Votino C., Verhoye M., Segers V., Cannie M., Bessieres B., Cos T. et al. Fetal organ weight estimation by postmortem high-field magnetic resonance imaging before 20 weeks' gestation. *Ultrasound. Obstet. Gynecol*. 2012; 39: 673-678. DOI: 10.1002/uog.11151
24. Breeze A.C.G., Gallagher F.A., Lomas D.J., Smith G.C.S., Lees C.C. for the Cambridge post-mortem MRI study group. Postmortem fetal organ volumetry using magnetic resonance imaging and comparison to organ weights at conventional autopsy. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2008; 31: 187-193. DOI: 10.1002/uog.5199
25. Mitchell M.L. Fetal brain to liver weight ratio as a measure of intrauterine growth retardation: analysis of 182 stillborn autopsies. *Mod. Pathol*. 2001; 14: 14-19. DOI: 10.1038/modpathol.3880251
26. Whitby E.H., Paley M.N., Cohen M., Griffiths P.D. Post-mortem fetal MRI: What do we learn from it? *Europ. J. Radiol*. 2006; 57: 250-255. DOI: 10.1016/j.ejrad.2005.11.024
27. Sebire N.J., Miller S., Jacques T.S., Taylor A.M., Rennie J.M., Kendall G. et al. Post-mortem apparent resolution of fetal ventriculomegaly: evidence from magnetic resonance imaging. *Prenat Diagn*. 2013; 33: 360-364. DOI: 10.1002/pd.4065
28. Kretschmann H.-J. *Brain growth*. *Bibliotheca Anatomica* Number 28. Basel (Switzerland). Karger Publishers, 1986.
29. Griffiths P.D., Wilkinson I.D., Variend S., Jones A., Paley M.N., Whitby E. Differential growth rates of the cerebellum and posterior fossa assessed by post-mortem magnetic resonance imaging of the fetus: implications for the pathogenesis of the Chiari 2 deformity. *Acta Radiol*. 2004; 45: 236-242.
30. Huisman T.A. Magnetic resonance imaging: an alternative to autopsy in neonatal death? *Semin. Neonatol*. 2004; 9: 347-353. DOI: 10.1016/j.siny.2003.09.004
31. Brookes J.A.S., Hall-Craggs M.A., Sams V.R., Lees W.R. Non-invasive perinatal necropsy by magnetic resonance imaging. *Lancet*. 1996; 348: 1139-1141. DOI: 10.1016/S0140-6736(96)02287-8
32. Tumanova U.N., Lyapin V.M., Burov A.A., Podurovskaya Yu. L., Zaretskaya N.V., Bychenko V.G., Kozlova A.V., Shchegolev A.I. VACTERL association of newborn: post-mortem CT and MRI imaging for autopsy. *REJR* 2017; 7 (2): 191-208. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-2-191-208 (in Russian).
33. Rutherford M.A., Pennock J.M., Counsell S.J., Mercuri E., Cowan F.M., Dubowitz L.M. et al. Abnormal magnetic resonance signal in the internal capsule predicts poor neurodevelopmental outcome in infants with hypoxic-ischemic encephalopathy. *Pediatrics* 1998; 102: 323-328.
34. Rutherford M.A., Pennock J.M., Schwieso J.E., Cowan F.M., Dubowitz L.M. Hypoxic ischaemic encephalopathy: early magnetic resonance imaging findings and their evolution. *Neuropediatrics* 1995; 26: 183-191. DOI: 10.1055/s-2007-979751
35. Nicholl R.M., Balasubramaniam V.P., Urquhart D.S., Selathurai N., Rutherford M.A.C. Postmortem brain MRI with selective tissue biopsy as an adjunct to autopsy following neonatal encephalopathy. *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2007; 11: 167-174. DOI: 10.1016/j.ejpn.2006.12.004
36. Cohen M., Whitby E.H. The use of magnetic resonance in the hospital and coronial pediatric postmortem examination. *Forensic Sci. Med. Pathol*. 2007; 3: 289-296. DOI: 10.1007/s12024-007-9017-5
37. Montaldo P., Chaban B., Lally P.J., Sebire N.J., Taylor A.M., Thayyil S. Quantification of ante-mortem hypoxic ischemic brain injury by post-mortem cerebral magnetic resonance imaging in neonatal encephalopathy. *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2015; 19: 665-671. DOI: 10.1016/j.ejpn.2015.07.006.