



DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-132-142

Посмертная характеристика гипоплазии легких при диафрагмальной грыже: МРТ – патоморфологические сопоставления

Туманова У.Н. *, Ляпин В.М., Буров А.А., Щеголев А.И., Дегтярёв Д.Н.

ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Россия

Postmortem Characteristics of Lung Hypoplasia at Diaphragmatic Hernia: MRI – Pathomorphological Comparisons

Tumanova U.N. *, Lyapin V.M., Burov A.A., Shchegolev A.I., Degtyarev D.N.

“Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology” Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Цель исследования: изучение возможностей посмертной МРТ для диагностики гипоплазии легких при врожденной диафрагмальной грыже.

Материал и методы. Проведено сопоставление результатов посмертного МРТ-исследования и данных патологоанатомического вскрытия 23 тел новорожденных. Группу I составили тела 10 умерших новорожденных, страдавших врожденной диафрагмальной грыжей без оперативного вмешательства; группу II – тела 7 новорожденных, умерших после операции по поводу врожденной диафрагмальной грыжи; группа III (контрольная) представлена 6 наблюдениями новорожденных без диафрагмальной грыжи и признаков гипоплазии легких. До аутопсии проводили МРТ-исследование на аппарате 3 T Magnetom Verio (Siemens, Германия) в стандартных T1- и T2-режимах. При анализе данных полученных томограмм и их 3D-реконструкции были рассчитаны объемы легких и грудной полости. При микроскопическом исследовании гистологических препаратов определяли стадию развития легких, а также количество радиальных альвеол.

Результаты. В результате проведенного посмертного МРТ-исследования установлено, что наблюдения группы I характеризуются критически малыми объемами легких. Среднее значение объема легкого на стороне диафрагмальной грыжи было в 4,1 раза меньше показателей контралатерального легкого ($p < 0,01$), а средние значения объема обоих легких были меньше соответствующих показателей контрольной группы в 4,6 раза ($p < 0,01$). Среднее значение удельного объема легких у новорожденных, погибших в результате врожденной диафрагмальной грыжи (группа I), состави-

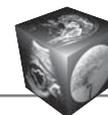
ло 8,8%, что в 4,2 раза меньше показателей контрольной группы ($p < 0,01$), и сопровождалось гистологическими признаками гипоплазии. Проведение операции в наблюдениях группы II приводило к увеличению размеров легких. Однако удельный объем легких в группе оперированных новорожденных оставался на 18,6% меньше показателей контрольной группы, а на гистологических препаратах отмечались признаки гипоплазии легких.

Заключение. Выполнение посмертной МРТ тел умерших новорожденных позволяет провести объективную количественную оценку объемов легких и тем самым верифицировать наличие гипоплазии, что способствует выяснению звеньев патогенеза и определению непосредственной причины смерти. Показатели удельного объема легких относительно грудной полости менее 20% свидетельствуют о гипоплазии легких как непосредственной причине смерти новорожденного.

Ключевые слова: врожденная диафрагмальная грыжа, гипоплазия легких, новорожденный, аутопсия, посмертная МРТ.

Ссылка для цитирования: Туманова У.Н., Ляпин В.М., Буров А.А., Щеголев А.И., Дегтярёв Д.Н. Посмертная характеристика гипоплазии легких при диафрагмальной грыже: МРТ – патоморфологические сопоставления. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (4): 132–142. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-132-142.

Purpose: the study of postmortem MRI possibilities for the diagnosis of lung hypoplasia in congenital diaphragmatic hernia.



Materials and methods. A comparison of the results of postmortem MRI study and data of pathoanatomical autopsy of 23 newborns was performed. In group I, the bodies of 10 deceased newborns with congenital diaphragmatic hernia without operative intervention were examined. In group II – the bodies of 7 newborns who died after surgery for congenital diaphragmatic hernia. Group III (control) included 6 bodies of newborns without diaphragmatic hernia and signs of lung hypoplasia. Before the autopsy, an MRI study was performed on a 3T Magnetom Verio device (Siemens, Germany) in standard T1 and T2 modes. The volumes of the lungs and chest cavity were calculated in the analysis of the tomograms data and their 3D reconstruction. The stage of the lung development and number of radial alveoli were identified at the microscopic study of histological preparations.

Results. As a result of the postmortem MRI study, it was established that the observations of group I are characterized by minimal lung volumes. The mean lung volume on the side of the diaphragmatic hernia was 4.1 times less than the contralateral lung ($p < 0.01$), and the mean values of the volume of both lungs were 4.6 times less than the corresponding values of the control group ($p < 0.01$). The average value of the specific volume of the lungs in newborns who died as a result of congenital diaphragmatic hernia (group I) was 8.8%, which is 4.2 times less than the control group ($p < 0.01$) and was accompanied by histological signs of hypoplasia. The operation in Group II observations led to an increase in lung size. However, the specific volume of the lungs in this group remained by 18.6% less than the control group, and on histological specimens there were signs of lung hypoplasia.

Conclusion. The postmortem MRI of dead newborns allows for an objective quantification of lung volumes and verifies the presence of hypoplasia. This helps to clarify the pathogenesis and determine the immediate cause of death. Indices of specific lung volume relative to the chest cavity of less than 20% indicate lung hypoplasia as the immediate cause of death of the newborn.

Key words: congenital diaphragmatic hernia, lung hypoplasia, newborn, autopsy, postmortem MRI.

Recommended citation: Tumanova U.N., Lyapin V.M.,

Burov A.A., Shchegolev A.I., Degtyarev D.N. Postmortem Characteristics of Lung Hypoplasia at Diaphragmatic Hernia: MRI – Pathomorphological Comparisons. *Medical visualization*. 2017; 21 (4): 132–142.

DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-132-142.

Введение

Врожденная диафрагмальная грыжа (ВДГ) возникает в результате нарушения закрытия плевроперитонеального канала. Частота ее развития варьирует от 1 на 2000–5000 новорожденных, составляя при этом порядка 8% от всех врожденных аномалий [1–3].

К сожалению, развитие ВДГ сопровождается высокими показателями летальных исходов, достигающими 70–90% [4]. Наиболее частой непосредственной причиной смерти является дыхательная недостаточность, обусловленная гипоплазией легких и гипертензией в малом круге кровообращения [5, 6]. Гипоплазия легких характеризуется врожденным неполноценным развитием и соответственно уменьшенным количеством воздухоносных путей, альвеол и составляющих их клеток в легких, что не позволяет им полноценно осуществлять дыхательную функцию [7].

В связи с этим актуальной задачей в акушерстве и неонатологии является оценка гипоплазии легких как фактора прогноза ВДГ у плода и новорожденного, а также определение возможностей проведения оперативного лечения.

Цель исследования

Изучение возможностей посмертной МРТ для диагностики гипоплазии легких при ВДГ у погибших новорожденных.

Для корреспонденции*: Туманова Ульяна Николаевна – 117997 Москва, ул. Академика Опарина, д. 4. Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, патологоанатомическое отделение. Тел.: 8-495-531-44-44 (доб. 24-44). E-mail: u.n.tumanova@gmail.com

Туманова Ульяна Николаевна – научный сотрудник патологоанатомического отделения ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” МЗ РФ, Москва; **Ляпин Вячеслав Михайлович** – врач-патологоанатом патологоанатомического отделения ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” МЗ РФ, Москва; **Буров Артем Александрович** – заведующий по клинической работе отделения хирургии новорожденных ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” МЗ РФ, Москва; **Щеголев Александр Иванович** – доктор мед. наук, профессор, заведующий патологоанатомическим отделением ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” МЗ РФ, Москва; **Дегтярёв Дмитрий Николаевич** – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова” МЗ РФ, Москва.

Contact*: Ulyana N. Tumanova – Akademika Oparina str., 4, Moscow, Russia, 117997. Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology. Phone: +7-(495)-5314444 (24-44). E-mail: u.n.tumanova@gmail.com

Ulyana N. Tumanova – scientific researcher, Department of Morbid Anatomy of Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology, Russian Ministry of Healthcare, Moscow; **Vyacheslav M. Lyapin** – pathologist, Department of Morbid Anatomy of Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology, Russian Ministry of Healthcare, Moscow; **Artem A. Burov** – Head on the clinical work of the Department of Neonatal Surgery of Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology, Russian Ministry of Healthcare, Moscow; **Aleksandr I. Shchegolev** – doct. of med. sci., professor, Head of Department of Morbid Anatomy of Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology, Russian Ministry of Healthcare, Moscow; **Dmitry N. Degtyarev** – doct. of med. sci., professor, Deputy Director for Scientific Work of Research Center of Obstetrics, Gynecology, and Perinatology, Russian Ministry of Healthcare, Moscow.



Материал и методы

Проведено сопоставление результатов посмертного МРТ-исследования и данных патологоанатомического вскрытия 23 тел новорожденных, разделенных на 3 группы. Группу I составили тела 10 умерших новорожденных, страдавших ВДГ и умерших в возрасте от 6 ч 45 мин до 5 дней 7 ч. Группу II составили тела 7 новорожденных, умерших в возрасте от 1 дня 11,5 ч до 24 сут после операции по поводу ВДГ. Группа III (контрольная) представлена 6 наблюдениями новорожденных без диафрагмальной грыжи и гипоплазии легких, а также другой патологии, приводящей к уменьшению объема легких.

Через 6–15 ч после констатации смерти до аутопсии в отделении лучевой диагностики (зав. – канд. мед. наук В.Г. Быченко) отдела визуальной диагностики (зав. – доктор мед. наук А.Н. Сенча) проводили МРТ-исследование в T1 и T2 стандартном режиме на аппарате 3 T Siemens Magnetom Verio (Германия). Использованы следующие настройки аппарата: FoV = 300 мм, FA 180°. Для T1-режима: Sl. Thickness = 0,9 мм, TR = 1900 мс, TE = 2,2 мс, AT = 06,11 мин; для T2 – 1, 3200, 410, 05,06 соответственно. Анализ данных и трехмерная обработка МРТ-изображений выполнены с использованием специализированного программного обеспечения Myrian Expert, Intrasense, Франция (официальный представитель в России компания ООО “Мед-рей” www.med-ray.ru). Были выполнены 3D-визуализация и расчет объема каждого легкого и грудной полости в каждом наблюдении. Проводили расчет удельного объема (%) обоих легких относительно объема грудной полости.

Верификацию основного заболевания, его осложнений и непосредственной причины смерти осуществляли при патологоанатомическом вскрытии с последующим микроскопическим изучением гистологических препаратов, окрашенных гематоксилином и эозином. Рассчитывали отношение массы легких к массе тела. На гистологических препаратах ткани легких определяли стадию развития и количество радиальных альвеол.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программного продукта Statistica 8 с определением средних значений, стандартного отклонения. За статистически значимое принималось значение $p < 0,05$.

Результаты

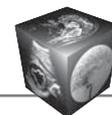
При изучении анамнеза установлено, что во всех изученных наблюдениях ВДГ была диагностирована при проведении УЗИ беременных на 14–35-й неделе гестации, что и явилось основной причиной госпитализации и родоразрешения в Центре, имеющем в своем составе отделение детской хирургии и реанимации. Роды произошли на 35–41-й неделе беременности (средний срок для групп I и II – 38,4 нед) (табл. 1). Масса новорожденных при рождении колебалась от 1232 до 4330 г (среднее значение для групп I и II – 2859,2 г), длина тела – от 37 до 56 см (среднее значение – 49,9 см).

Сразу после рождения все дети находились на лечении в отделении детской хирургии и реанимации и готовились к оперативному вмешательству. На основании проведенных клинико-инструментальных исследований у 4 детей была диагности-

Таблица 1. Клинико-морфологические характеристики умерших новорожденных (M ± SD)

Показатель	Группа		
	I (n = 10)	II (n = 7)	III (n = 6)
Пол (мужской : женский)	4 : 6	4 : 3	6 : 0
Срок гестации при рождении, нед	37,6 ± 1,9	39,2 ± 1,5	38,2 ± 1,8
Масса тела при рождении, г	2696,7 ± 944,7	3091,3 ± 606,5	3002,5 ± 501,2
Длина тела при рождении, см	48,9 ± 5,2	51,4 ± 2,7	48,8 ± 4,1
Средний возраст, дни, часы	2 д	16 д 8 ч	13 д 7 ч
Диафрагмальная грыжа:			
левосторонняя : правосторонняя	9 : 1	3 : 4	–
истинная : ложная	0 : 10	4 : 3	–
Масса тела при аутопсии, г	3275,6 ± 1074,9	4446,4 ± 1152,4	4554,2 ± 1547,0
Длина тела при аутопсии, см	49,1 ± 5,9	55,6 ± 2,7	51,3 ± 5,1
Масса левого легкого, г	3,7 ± 2,6*	27,7 ± 16,7	27,9 ± 15,6
Масса правого легкого, г	13,9 ± 6,0*	38,2 ± 30,6	36,9 ± 18,9
Масса обоих легких, г	17,6 ± 7,2*	65,9 ± 37,0	64,8 ± 34,0
Масса легкого на стороне грыжи	3,8 ± 3,1	19,2 ± 10,9	–
Масса легкого на контралатеральной стороне	13,7 ± 6,1	46,7 ± 25,9	–
Отношение массы легких к массе тела	0,0054 ± 0,0002*	0,0148 ± 0,0007	0,0142 ± 0,0005

Примечание: * – $p < 0,05$ по сравнению с группой III (контрольной).

**Таблица 2.** МРТ-характеристики объемов легких и грудной полости (M ± SD)

Объем, см ³	Группа		
	I (n = 10)	II (n = 7)	III (n = 6)
Левое легкое	3,4 ± 3,1*	29,8 ± 20,2	34,8 ± 18,8
Правое легкое	14,9 ± 7,9*	47,2 ± 35,7	50,1 ± 21,2
Легкое на стороне грыжи	3,6 ± 3,5	23,2 ± 13,5	–
Легкое на контралатеральной стороне	14,7 ± 8,0	53,8 ± 33,6	–
Оба легких	18,3 ± 9,7*	77,0 ± 44,1	84,9 ± 38,4
Грудная полость	224,8 ± 73,0	253,7 ± 76,0	232,1 ± 82,5
Удельный объем обоих легких в грудной полости, %	8,8 ± 4,7*	30,2 ± 15,1	37,1 ± 16,0

Примечание: * – $p < 0,05$ по сравнению с группой III (контрольной).

рована истинная (у 3 правосторонняя и у 1 левосторонняя) и у 13 – ложная диафрагмальная грыжа (у 11 – левосторонняя и у 2 – правосторонняя). Семи новорожденным было проведено оперативное лечение (группа II): 4 – при истинной грыже и 3 – при ложной. Однако, несмотря на перенесенную операцию и проводимое лечение, состояние детей ухудшалось и в возрасте 1 сут 11 ч – 23 дней была констатирована смерть. Десяти детям оперативное лечение не было проведено (группа I) из-за тяжести состояния. Несмотря на интенсивную терапию, они скончались в возрасте 6 ч 45 мин – 23 дней.

Контрольную группу (группу III) составили 6 новорожденных, родившихся на сроках гестации 27–40 нед и умерших в возрасте 2 ч – 36 дней 10 ч. На основании данных аутопсийного исследования во всех наблюдениях основным заболеванием явились множественные пороки развития при отсутствии аномалий легких.

В результате проведенного посмертного МРТ-исследования было произведено 3D-моделирование легких и грудной полости с последующим определением их объемов (табл. 2). Установлено, что в группе III (контрольной) средний удельный объем обоих легких в грудной полости составил 37,1% (рис. 1). При посмертном МРТ-исследовании тел новорожденных группы I среднее значение объема обоих легких и удельный их объем в 4,6 и 4,2 раза меньше показателей контрольной группы соответственно ($p < 0,05$), что, несомненно, указывает на их гипоплазию. При этом средний объем легкого на стороне грыжи был в 4,1 раза меньше объема легкого на контралатеральной стороне ($p < 0,05$) (рис. 2). У детей группы II, перенесших оперативные вмешательства по поводу ВДГ, средний объем обоих легких и удельный их объем в грудной полости превышал аналогичные показатели группы I (неоперированных новорожденных) в 4,2 и 3,4 раза ($p < 0,05$). Однако их значения были на 9,3 и 18,6% меньше показателей контрольной группы. Средний объем легкого на стороне диафрагмальной грыжи в группе II пре-

вышал значения группы I в 6,4 раза, а объем легкого на контралатеральной стороне – в 3,6 раза ($p < 0,05$). В результате подобных изменений в группе II объем ипсилатерального легкого оставался в 2,3 раза меньше средних значений объема легкого на контралатеральной стороне ($p < 0,05$) (рис. 3).

Обращали на себя внимание индивидуальные МРТ-показатели удельного объема легких у умерших новорожденных. Так, в наблюдениях диафрагмальной грыжи группы I рассчитанные значения диафрагмальной грыжи, удельный объем легких варьировали от 11,3 до 56,7%. При этом в 2 наблюдениях группы II, в которой смерть наступила в результате гипоплазии, удельный объем легких составил 11,3 и 15,7%, в других же наблюдениях этой группы удельный объем легких варьировал от 26,9 до 56,7%.

При морфологическом исследовании аутопсийного материала контрольной группы установлено, что масса левого легкого варьировала от 6,1 до 51,2 г, правого легкого – от 9,6 до 64,2 г. Средние значения массы левого, правого и обоих легких составили $27,9 \pm 15,6$, $36,9 \pm 18,9$ и $64,8 \pm 34,0$ г соответственно (см. табл. 1). При этом во всех наблюдениях на гистологических препаратах определялись альвеолярная стадия развития легких, а также участки ателектазов и дистелектазов. Количество радиальных альвеол составляло от 6 до 4.

У новорожденных, страдавших ВДГ и погибших в результате гипоплазии легких (группа I), масса левого и правого легкого варьировала от 1,8 до 26,0 г. При этом средние их значения составили $3,7 \pm 2,6$ и $13,9 \pm 6,0$ г соответственно, а средняя масса обоих легких – $17,6 \pm 7,2$ г, то есть масса левого, правого и обоих легких была меньше показателей контрольной группы в 2,7–7,5 раза ($p < 0,05$). Следует отметить, что у 9 новорожденных группы I имелась левосторонняя и лишь у 1 – правосторонняя диафрагмальная грыжа. Соответственно этому средняя масса легкого на стороне грыжи была в 3,8 раза меньше массы лег-

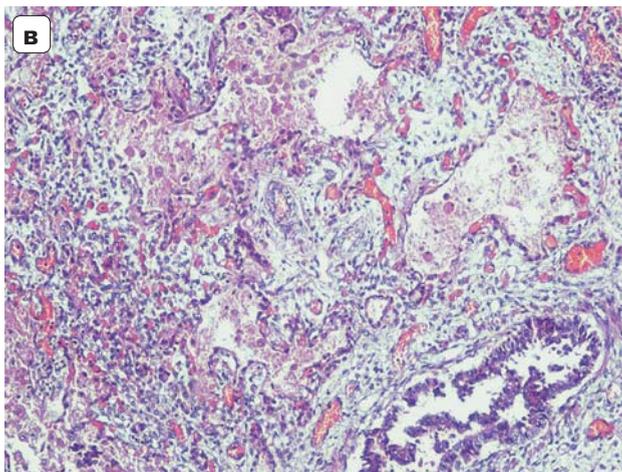
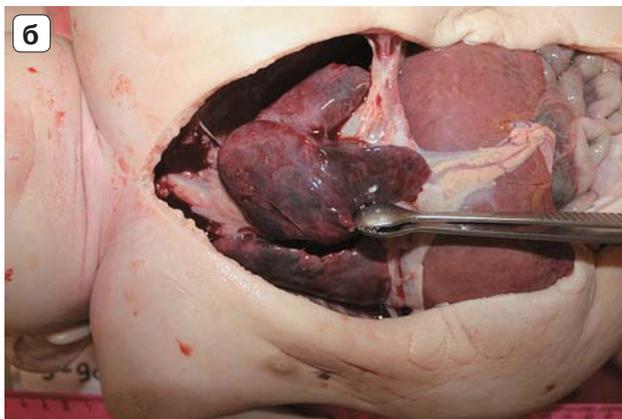
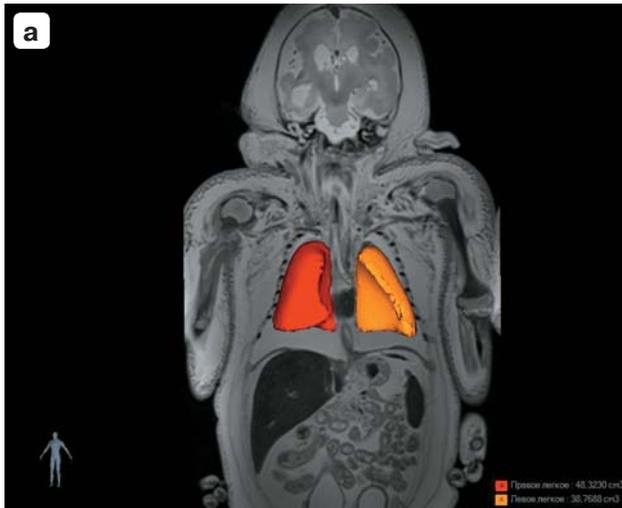


Рис. 1. МРТ (а) и морфологические (б, в) характеристики легких в группе III (контрольной). а – МР-томограмма, фронтальная проекция, комбинированное T2ВИ с объемными реконструкциями правого (красный цвет) и левого (оранжевый цвет) легкого; б – внешний вид на аутопсии; в – участки ателектаза и дистелектаза в ткани легкого, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$.

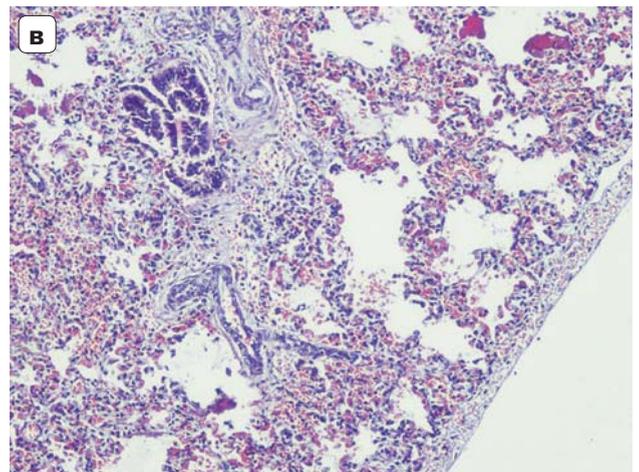
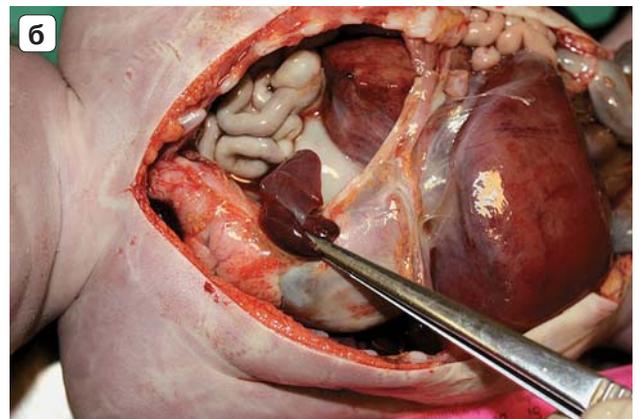
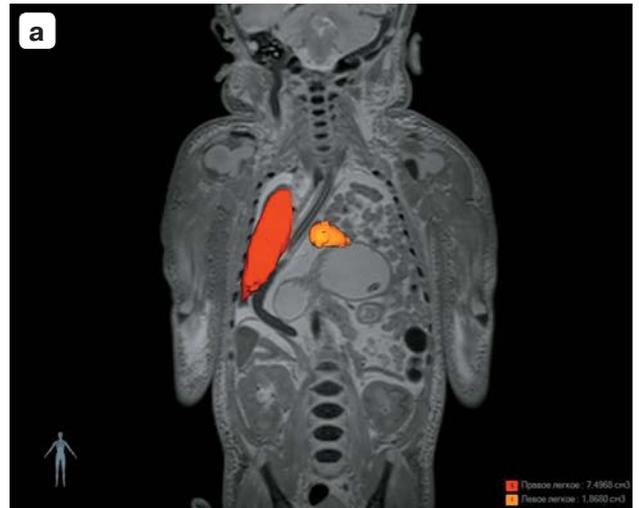


Рис. 2. МРТ (а) и морфологические характеристики (б, в) легких при врожденной диафрагмальной грыже (группа I). а – МР-томограмма, фронтальная проекция, комбинированное T2ВИ с объемными реконструкциями правого (красный цвет) и левого (оранжевый цвет) легкого; б – внешний вид на аутопсии; в – гипоплазия левого легкого, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$.

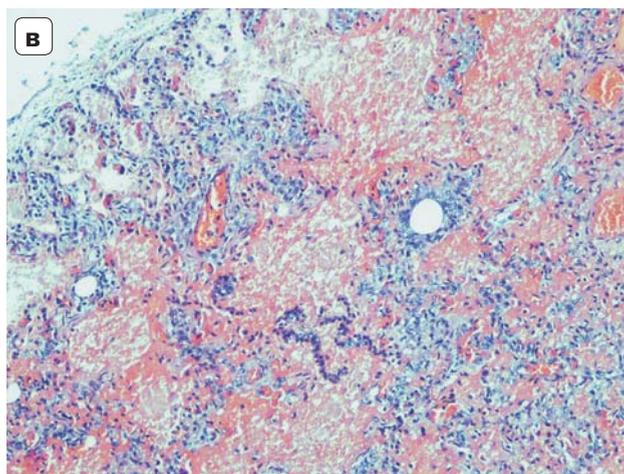
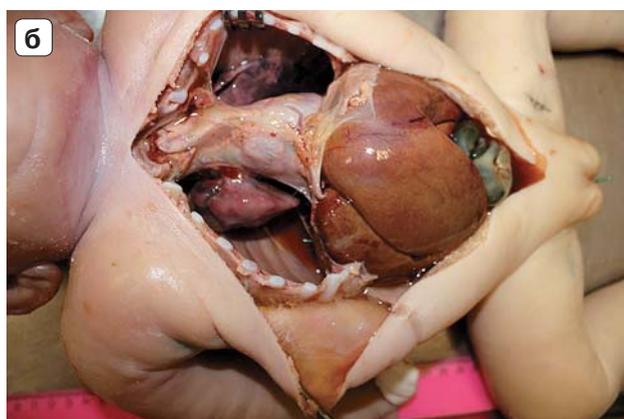
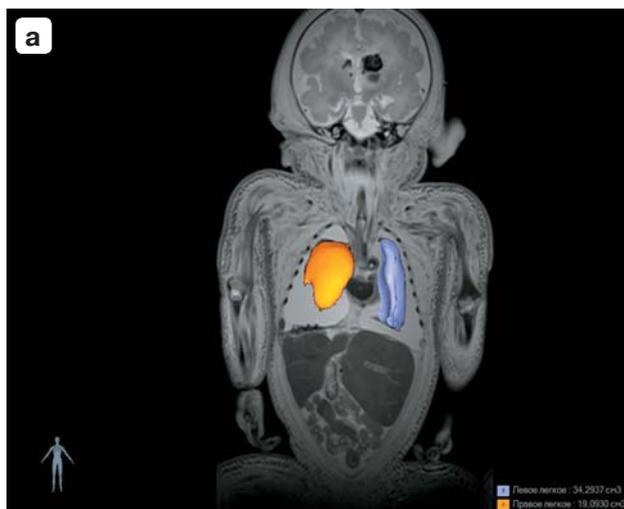
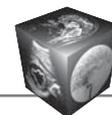


Рис. 3. МРТ (а) и морфологические (б, в) характеристики легких новорожденного, оперированного по поводу врожденной диафрагмальной грыжи (группа II). а – МР-томограмма, фронтальная проекция, комбинированное T2ВИ с объемными реконструкциями правого (оранжевый цвет) и левого (синий цвет) легкого; б – внешний вид на аутопсии; в – гипоплазия левого легкого, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$.

кого на контралатеральной стороне ($p < 0,05$). В то же время среднее значение рассчитанных показателей отношения массы обоих легких к общей массе тела меньше соответствующего показателя контрольной группы в 2,6 раза ($p < 0,05$). При микроскопическом изучении ткани легких в 5 наблюдениях установлена альвеолярная фаза, а в 5 – поздняя мешотчатая фаза развития, при этом в обоих легких определялось по 2–3 радиальных альвеолы.

В наблюдениях группы II, т.е. у новорожденных, погибших после оперативного лечения диафрагмальной грыжи, масса левого легкого варьировала от 4,5 до 56,9 г, а правого легкого – от 1,1 до 83,8 г. При этом среднее значение массы обоих легких в 3,7 раза превышало соответствующий показатель у неоперированных новорожденных с диафрагмальной грыжей (группа I) и лишь на 1,7% – уровень в контрольной группе ($p > 0,05$) (см. табл. 1). Левосторонняя диафрагмальная грыжа имела у 3 пациентов группы II, правосторонняя – у 4. Соответственно этому средняя масса легкого на стороне грыжи была в 2,4 раза меньше массы легкого на контралатеральной стороне ($p < 0,05$). В свою очередь средние значения массы легкого на стороне поражения и контралатеральной стороне превышали соответствующие показатели группы I в 5,1 и в 3,4 раза ($p < 0,05$). А рассчитанный показатель отношения массы обоих легких к общей массе тела был больше аналогичного показателя группы I в 2,7 раза ($p < 0,05$).

Обсуждение

Известно, что ВДГ сопровождается изменением размеров и массы легких, а также развитием их гипоплазии. Основными патологоанатомическими критериями гипоплазии легких считаются отношение массы легких к массе тела и количество радиальных альвеол [6, 8]. Поскольку соотношение массы легких и массы тела зависит от срока гестации, то нижней границей такого соотношения считается 0,015 при сроке гестации менее 28 нед и 0,012 при сроке 28 нед гестации и более [9].

Согласно результатам проведенного аутопсийного исследования, средние значения отношения массы обоих легких к массе тела умершего новорожденного составили 0,0054 и 0,0148 в группе I и II соответственно. То есть показатели группы неоперированных новорожденных свидетельствуют в пользу гипоплазии легких. В то же время рассчитанные показатели соотношения масс у пациентов, оперированных по поводу диафрагмальной грыжи, превышали на 4,2% значения контрольной группы ($p > 0,05$).



Более объективным способом морфологической диагностики гипоплазии легких является микроскопическое определение количества радиальных альвеол на гистологических препаратах ткани легкого. Радиальные альвеолы – это альвеолы, расположенные на линии, соединяющей респираторную терминальную бронхиолу с границей ближайшего ацинуса: с плеврой или соединительнотканной перегородкой [8]. Нормативные показатели количества радиальных альвеол существенным образом зависят от срока гестации плода и возраста новорожденного [10].

На основании изучения гистологических препаратов нами установлено (см. рис. 2, а), что среднее количество радиальных альвеол в ткани легких новорожденных с диафрагмальной грыжей (группа I) составило 2,7 на стороне грыжи и 2,9 на контралатеральной стороне соответственно. То есть независимо от стороны поражения диафрагмы речь идет о гипоплазии обоих легких, что согласуется с данными литературы [11–13]. У новорожденных, перенесших операцию по поводу диафрагмальной грыжи, среднее количество радиальных альвеол в ткани легкого на стороне грыжи составило 3,2 (см. рис. 3, а), а на контралатеральной стороне – 3,8. Следовательно, оперативное вмешательство, направленное на устранение механического давления на легкие и на восстановление нормальной топографии внутренних органов, приводит в определенной мере к улучшению аэрации легких. Однако установленные при аутопсийном исследовании количества радиальных альвеол свидетельствуют о наличии двусторонней гипоплазии легких.

Следует также добавить, что развитие гипоплазии легких обусловлено и степенью их зрелости (стадией развития легкого) [14]. Так, в наблюдениях группы III (контрольной) преобладала альвеолярная стадия развития, а в группах I и II (с диафрагмальной грыжей) – мешотчатая (саккулярная) стадия.

Именно поэтому основной задачей, стоящей перед акушерами и неонатологами в случае внутриутробного выявления диафрагмальной грыжи у плода, является не только четкая диагностика вида грыжи, но и определение прогноза заболевания. Основным методом диагностики ВДГ у плода в настоящее время считается эхография. Ультразвуковое выявление ВДГ возможно уже с конца I триместра, но чаще всего она диагностируется в конце II триместра [15]. Наиболее высокая точность диагностики в пренатальном периоде отмечается при левосторонних диафрагмальных грыжах, она составляет 75%, при правосторонних – 31% [16]. В основе диагностики лежит выяв-

ление в грудной полости органов брюшной полости и соответственно этому смещение органов средостения.

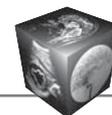
Действительно, при посмертной МРТ и последующем патологоанатомическом вскрытии тел умерших новорожденных группы I нами было установлено наличие органов брюшной полости (тонкой кишки, толстой кишки, печени, селезенки) в пределах грудной полости.

Прогностическими факторами, коррелирующими с постнатальным исходом, считаются наличие сочетанных аномалий развития и/или хромосомной патологии, перемещение печени в грудную полость и размеры легких [17]. По мнению большинства исследователей, наиболее значимым фактором прогноза является оценка гипоплазии легких, поскольку именно гипоплазия легкого является наиболее частой непосредственной причиной смерти.

Проведение пренатального УЗИ плода позволяет получить ряд количественных характеристик, используемых для определения гипоплазии легких: окружность грудной клетки и живота, площадь сечения легких на уровне четырехкамерной проекции сердца [18, 19]. Примечательно, что значения площади сечения легких высоко коррелируют ($r = 0,78$) с показателями массы легких, а отношение окружностей грудной клетки и живота – с показателем отношения массы легких к массе тела ($r = 0,65$) [20].

В 1996 г. A.P. Metkus и соавт. [21] предложили методику УЗИ-оценки объема легких путем определения так называемого легочно-головного отношения (LHR) – отношения площади контралатерального легкого к окружности головы плода. Площадь легкого определяют путем умножения двух наибольших взаимно перпендикулярных диаметров областей легкого, измеренных на уровне четырехкамерного среза сердца плода. По данным многоцентрового изучения плодов с изолированной левосторонней диафрагмальной грыжей установлено, что при значениях LHR от 0,4 до 0,7 выживаемость новорожденных составила 0%, при 0,8–0,9 – 15%, при 1,0–1,5 – 65% и при отношении более 1,6 – 80% [22]. При этом в дальнейшем авторы [23] уточнили, что LHR может служить предиктором выживаемости плодов с диафрагмальной грыжей только при внутригрудном расположении печени и сроках гестации 22–28 нед.

Более информативным показателем прогноза выживаемости считается отношение фактического LHR к нормативному при данном сроке гестации – $observed/expected$ LHR (O/E LHR) [23]. В нормальных условиях у здоровых плодов данное



отношение превышает 60%. У большинства (90%) плодов с диафрагмальной грыжей оно составляет менее 60%. На основании определения данного соотношения ряд авторов [23, 24] выделяют 4 степени выраженности гипоплазии легких у плодов с диафрагмальной грыжей. Крайняя степень, характеризующаяся значениями О/Е LHR менее 15%, указывает на 0% выживаемость, критическая (15–25%) – на выживаемость порядка 15%, умеренная (26–45%) – на 30–60% и при незначительной степени (более 45%) гипоплазии легких выживаемость достигает 75% и более.

Улучшению диагностики гипоплазии легких способствовало внедрение МРТ для пренатального обследования плода [25]. К преимуществам МРТ относят исключение артефактов, обусловленных движением, и возможность анализировать изображения с толщиной сечения 4–6 мм [26].

S. Tanigaki и соавт. установлены более высокие значения чувствительности и специфичности МРТ-показателя отношения рассчитанного объема легких к массе тела плода по сравнению с аналогичным УЗ-показателем для диагностики гипоплазии легких [27]. В другом исследовании J. Jani и соавт. провели сравнительный анализ возможностей МРТ для оценки прогноза ВДГ у 148 плодов путем определения общего объема легких (TFLV), а также отношения фактического/нормального объема легких и отношения фактической/нормальной площади сечения легких к окружности головы [28]. Наиболее эффективным оказалось определение отношения фактического к нормальному объему легких. Справедливости ради, следует уточнить, что в вышеприведенных исследованиях [27, 28] определение объема легких осуществлялось путем умножения площади сечений на толщину срезов.

Проведенное исследование основано на данных посмертного МРТ-исследования гипоплазии легких и выяснения звеньев танатогенеза. Действительно, в литературе появляется все больше работ, посвященных применению МРТ для визуализации патологических изменений легких и грудной полости у умерших младенцев [29–31], в том числе при ВДГ [32]. Наиболее эффективной посмертная МРТ оказалась при выявлении гидроторакса, где показатели чувствительности достигали 100%, хуже всего диагностировались инфекционные поражения легких [33]. На основании МРТ – морфологических сопоставлений авторы также установили, что эффективность МРТ-диагностики повышается с возрастом умершего пациента: более высокий процент совпадений отмечался при исследовании тел умерших детей, а наиболее худшие результаты (69,7% расхожде-

ний) – при анализе тел плодов, погибших до 24 нед гестации. Вместе с тем использование количественной оценки и сопоставления интенсивностей сигнала позволило нам разработать критерии посмертной МРТ-диагностики врожденной пневмонии [34–36].

Существенным достоинством МРТ-исследования является возможность неинвазивного определения объемов внутренних органов, в частности легких, путем построения 3D-реконструкций полученных томограмм [37]. В нашем исследовании также было применено построение 3D-реконструкций с последующим определением объемов легких и грудной полости.

По данным проведенного посмертного МРТ-исследования наблюдения группы I характеризуются минимальными объемами легких. При этом среднее значение объема легкого на стороне диафрагмальной грыжи было в 4,1 раза меньше показателей контралатерального легкого ($p < 0,01$). А средние значения объема обоих легких были меньше соответствующих показателей контрольной группы в 4,6 раза ($p < 0,01$). Достаточно эффективным показателем состояния легких при ВДГ является рассчитанный нами удельный объем обоих легких относительно общего объема грудной полости. Среднее значение удельного объема легких у новорожденных, погибших в результате ВДГ (группа I), составило 8,8%, что в 4,2 раза меньше показателей контрольной группы ($p < 0,01$).

На наш взгляд, значения удельного объема легких в наибольшей мере отражают степень выраженности гипоплазии легких. Действительно, проведение операции в наблюдениях группы II приводило к удалению органов брюшной полости из грудной полости и соответственно устранению механического давления на ткань легких. Однако удельный объем легких в группе оперированных новорожденных оставался на 18,6% меньше показателей контрольной группы. При этом по данным микроскопического исследования на препаратах отмечались признаки гипоплазии легких.

Более того, в результате проведенного анализа зависимости МРТ-показателей легких от непосредственной причины смерти установлено, что в наблюдениях гибели новорожденных с ВДГ от гипоплазии легких значения удельного объема легких относительно грудной полости составляли менее 20%. Данные значения, на наш взгляд, следует учитывать и при предоперационном МРТ-исследовании новорожденных с диафрагмальной грыжей с целью выбора метода лечения и определения прогноза заболевания.



Заключение

ВДГ закономерно сопровождается развитием гипоплазии легких, которая является непосредственной причиной смерти новорожденных. Проведение оперативного вмешательства приводит к увеличению массы и объема легких, однако не всегда устраняет их гипоплазию. Выполнение посмертной МРТ тел умерших новорожденных позволяет провести объективную количественную оценку объемов легких и тем самым верифицировать наличие гипоплазии, что способствует выяснению звеньев патогенеза и определению непосредственной причины смерти. Показатели удельного объема легких относительно грудной полости менее 20% свидетельствуют о наличии гипоплазии легких как непосредственной причины смерти новорожденного.

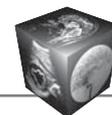
Дополнительная информация

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).

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2016 г. № 14.607.21.0162, идентификатор соглашения RFMEFI60716X0162).

Список литературы

1. Wenstrom K.D., Weiner C.P., Janson J.W. A five-year statewide experience with congenital diaphragmatic hernia. *Am. J. Obstet Gynecol.* 1991; 165: 838–842.
2. Langham M.R.J., Kays D.W., Ledbetter D.J., Frentzen B., Sanford L.L., Richards D.S. Congenital diaphragmatic hernia. Epidemiology and outcome. *Clin. Perinatol.* 1996; 23: 671–688.
3. Neville H.L., Jaksic T., Wilson J.M., Lally P.A., Hardin W.D. Jr., Hirschl R.B., Lally K.P. Bilateral congenital diaphragmatic hernia. *J. Pediatr. Surg.* 2003; 38: 522–524. DOI: 10.1053/jpsu.2003.50092.
4. Jeanty C., Nien J.K., Espinoza J., Kusanovic J.P., Gonçalves L.F., Qureshi F., Jacques S., Lee W., Romero R. Pleural and pericardial effusion: a potential ultrasonographic marker for the prenatal differential diagnosis between congenital diaphragmatic eventration and congenital diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 29: 378–387. DOI: 10.1002/uog.3958.
5. Keijzer R., Puri P. Congenital diaphragmatic hernia. *Semin. Pediatr. Surg.* 2010; 19: 180–185. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2010.03.001
6. Щёголев А.И., Туманова У.Н., Ляпин В.М. Гипоплазия легких: причины развития и патологоанатомическая характеристика. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2017; 4 (3): 530–534.
7. Gilbert-Barness E., Spicer D.E., Steffensen T.S. Handbook of Pediatric Autopsy Pathology. New York: Springer Science + Business Media, 2014.
8. Askenazi S.S., Perlman M. Pulmonary hypoplasia: lung weight and radial alveolar count as criteria of diagnosis. *Arch. Dis. Child.* 1979; 54: 614–618.
9. Wigglesworth J.S., Desai R., Guerrini P. Fetal lung hypoplasia: biochemical and structural variations and their possible significance. *Arch. Dis. Child.* 1981; 56: 606–615.
10. Emery J.L., Mithal A. The number of alveoli in the terminal respiratory unit of man during late intrauterine life and childhood. *Arch. Dis. Child.* 1960; 35: 544–547.
11. Doné E., Gucciardo L., Mieghem T.V., Jani J., Cannie M., Van Schoubroeck D., Devlieger R., Catte L.D., Klaritsch P., Mayer S., Beck V., Debeer A., Gratacos E., Nicolaidis K., Deprest J. Prenatal diagnosis, prediction of outcome and in utero therapy of isolated congenital diaphragmatic hernia. *Prenat. Diagn.* 2008; 28: 581–591. DOI: 10.1002/pd.2033.
12. Gucciardo L., Deprest J., Doné E., Van Mieghem T., Van de Velde M., Gratacos E., Jani J., Peralta F., Nicolaidis K. Prediction of outcome in isolated congenital diaphragmatic hernia and its consequences for fetal therapy. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynecol.* 2008; 22 (1): 123–138. DOI: 10.1016/j.bpobgyn.2007.08.006.
13. Аврелькина Е.В., Перетятко Л.П., Герасимова Л.И. Критерии первичной/вторичной гипоплазии легких при ложной левосторонней врожденной диафрагмальной грыже. *Современные проблемы науки и образования.* 2014; 4: 314.
14. Galambos C., Demello D.E. Regulation of alveologenesi: clinical implications of impaired growth. *Pathology.* 2008; 40: 124–140. DOI: 10.1080/00313020701818981.
15. Демидов В.Н., Машинец Н.В., Подуровская Ю.Л., Буров А.А. Врожденная диафрагмальная грыжа плода – возможности ультразвуковой диагностики и прогнозирование постнатального исхода. *Акушерство и гинекология.* 2014; 4: 38–45.
16. Gallot D., Boda C., Ughetto S., Perthus I., Robert-Gnansia E., Francannet C., Laurichesse-Delmas H., Jani J., Coste K., Deprest J., Labbe A., Sapin V., Lemery D. Prenatal detection and outcome of congenital diaphragmatic hernia: a French registry-based study. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 29: 276–283. DOI: 10.1002/uog.3863.
17. Машинец Н.В. Диафрагмальная грыжа плода (диагностика, лечение, постнатальные исходы). *Акушерство и гинекология.* 2016; 2: 20–27. DOI: http://dx.doi.org/10.18565/aig.2016.2.20-26.
18. Vintzileos A.M., Campbell W.A., Rodis J.F., Nochimson D.J., Pinette M.G., Petrikovsky B.M. Comparison of six different ultrasonographic methods for predicting lethal fetal pulmonary hypoplasia. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1989; 162: 606–612.
19. Peralta C.F., Cavoretto P., Csapo B., Vandecruys H., Nicolaidis K.H. Assessment of lung area in normal fetuses at 12–32 weeks. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2005; 26: 718–724. DOI: 10.1002/uog.2651.
20. Yoshimura S., Masuzaki H., Gotoh H., Fukuda H., Ishimaru T. Ultrasonographic prediction of lethal pulmonary hypoplasia: comparison of eight different ultrasonographic parameters. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1996; 175: 477–483.
21. Metkus A.P., Filly R.A., Stringer M.D., Harrison M.R., Adzick N.S. Sonographic predictors of survival in fetal diaphragmatic hernia. *J. Pediatr. Surg.* 1996; 31: 148–151.
22. Jani J., Keller R.L., Benachi A., Nicolaidis K.H., Favre R., Gratacos E., Laudy J., Eisenberg V., Eggink A., Vaast P.,



- Deprest J., Antenatal-CDH-Registry Group. Prenatal prediction of survival in isolated left-sided diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2006; 27: 18–22. DOI: 10.1002/uog.2688.
23. Jani J.C., Peralta C.F.A., Nicolaides K.H. Lung-to-head ratio to unify the technique. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2012; 39: 2–6. DOI: 10.1002/uog.11065.
24. Doné E., Gucciardo L., Mieghem T.V., Jani J., Cannie M., Van Schoubroeck D., Devlieger R., Catte L.D., Klaritsch P., Mayer S., Beck V., Debeer A., Gratacos E., Nicolaides K., Deprest J. Prenatal diagnosis, prediction of outcome and in utero therapy of isolated congenital diaphragmatic hernia. *Prenat. Diagn.* 2008; 28: 581–591. DOI: 10.1002/pd.2033.
25. Kasprian G., Balassy C., Brugger P.C., Prayer D. MRI of normal and pathological fetal lung development. *Eur. J. Radiol.* 2006; 57: 261–270. DOI: 10.1016/j.ejrad.2005.11.031.
26. Triebwasser J.E., Treadwell M.C. Prenatal prediction of pulmonary hypoplasia. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2017; 15. DOI: 10.1016/j.siny.2017.03.001.
27. Tanigaki S., Miyakoshi K., Tanaka M., Hattori Y., Matsu-moto T., Ueno K., Uehara K., Nishimura O., Minegishi K., Ishimoto H., Shinmoto H., Ikeda K., Yoshimura Y. Pulmonary hypoplasia: prediction with use of ratio of MR imaging-measured fetal lung volume to US-estimated fetal body weight. *Radiology.* 2004; 232: 767–772. DOI: 10.1148/radiol.2323030359.
28. Jani J., Cannie M., Sonigo P., Robert Y., Moreno O., Benachi A., Vaast P., Gratacos E., Nicolaides K.H., Deprest J. Value of prenatal magnetic resonance imaging in the prediction of postnatal outcome in fetuses with diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 32: 793–799. DOI: 10.1002/uog.6234.
29. Thayyil S., Sebire N.J., Chitty L.S., Wade A., Chong W., Olsen O., Gunny R.S., Offiah A.C., Owens C.M., Saunders D.E., Scott R.J., Jones R., Norman W., Addison S., Bainbridge A., Cady E.B., Vita E.D., Robertson N.J., Taylor A.M., MARIAS collaborative group. Post-mortem MRI versus conventional autopsy in fetuses and children: a prospective validation study. *Lancet.* 2013; 382: 223–233. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60134-8.
30. Туманова У.Н., Щёголев А.И. Посмертная магнитно-резонансная томография плодов и новорожденных. *Медицинская визуализация.* 2015; 5: 128–136.
31. Туманова У.Н., Щёголев А.И. Возможности и ограничения виртуальной аутопсии в неонатологии. *REJR.* 2017; 1: 20–33. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-1-20-33.
32. Туманова У.Н., Быченко В.Г., Ляпин В.М., Воеводин С.М., Щёголев А.И. Врожденная диафрагмальная грыжа у новорожденного: МРТ-патоморфологические сопоставления. *Медицинская визуализация.* 2014; 4: 72–83.
33. Arthurs O.J., Thayyil S., Olsen O.E., Addison S., Wade A., Jones R., Norman W., Scott R.J., Robertson N.J., Taylor A.M., Chitty L.S., Sebire N.J., Owens C.M. Magnetic Resonance Imaging Autopsy Study (MaRIAS) Collaborative Group. Diagnostic accuracy of post-mortem MRI for thoracic abnormalities in fetuses and children. *Eur. Radiol.* 2014; 24: 2876–2884. DOI: 10.1007/s00330-014-3313-8.
34. Туманова У.Н., Ляпин В.М., Быченко В.Г., Щёголев А.И., Сухих Г.Т. Посмертная МРТ для диагностики врожденной пневмонии. *Вестник Российского государственного медицинского университета.* 2016; 4: 48–55.
35. Tumanova U.N., Lyapin V.M., Shchegolev A.I., Sukhikh G.T. The possibility of postmortem MRI in the diagnosis of congenital pneumonia. *Virchows Arch.* 2016; 469 (S1): S183.
36. Туманова У.Н., Ляпин В.М., Быченко В.Г., Воеводин С.М., Щёголев А.И. Способ посмертной диагностики врожденной пневмонии у новорожденного. Патент на изобретение RUS 2609462 16.02.2016.
37. Thayyil S., Schievano S., Robertson N.J., Jones R., Chitty L.S., Sebire N.J., Taylor A.M. MaRIAS (Magnetic Resonance Imaging Autopsy Study) Collaborative group. A semi-automated method for non-invasive internal organ weight estimation by post-mortem magnetic resonance imaging in fetuses, newborns and children. *Eur. J. Radiol.* 2009; 72: 321–326. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.07.013.

References

1. Wenstrom K.D., Weiner C.P., Janson J.W. A five-year statewide experience with congenital diaphragmatic hernia. *Am. J. Obstet Gynecol.* 1991; 165: 838–842.
2. Langham M.R.J., Kays D.W., Ledbetter D.J., Frentzen B., Sanford L.L., Richards D.S. Congenital diaphragmatic hernia. Epidemiology and outcome. *Clin. Perinatol.* 1996; 23: 671–688.
3. Neville H.L., Jaksic T., Wilson J.M., Lally P.A., Hardin W.D. Jr., Hirschl R.B., Lally K.P. Bilateral congenital diaphragmatic hernia. *J. Pediatr. Surg.* 2003; 38: 522–524. DOI: 10.1053/jpsu.2003.50092.
4. Jeanty C., Nien J.K., Espinoza J., Kusanovic J.P., Gonçalves L.F., Qureshi F., Jacques S., Lee W., Romero R. Pleural and pericardial effusion: a potential ultrasonographic marker for the prenatal differential diagnosis between congenital diaphragmatic eventration and congenital diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 29: 378–387. DOI: 10.1002/uog.3958.
5. Keijzer R., Puri P. Congenital diaphragmatic hernia. *Semin. Pediatr. Surg.* 2010; 19: 180–185. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2010.03.001
6. Shchegolev A.I., Tumanova U.N., Lyapin V.M. Pulmonary hypoplasia: причины развития и pathological finding. *Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy.* 2017; 4 (3): 530–534. (In Russian)
7. Gilbert-Barness E., Spicer D.E., Steffensen T.S. Handbook of Pediatric Autopsy Pathology. New York: Springer Science + Business Media, 2014.
8. Askenazi S.S., Perlman M. Pulmonary hypoplasia: lung weight and radial alveolar count as criteria of diagnosis. *Arch. Dis. Child.* 1979; 54: 614–618.
9. Wigglesworth J.S., Desai R., Guerrini P. Fetal lung hypoplasia: biochemical and structural variations and their possible significance. *Arch. Dis. Child.* 1981; 56: 606–615
10. Emery J.L., Mithal A. The number of alveoli in the terminal respiratory unit of man during late intrauterine life and childhood. *Arch. Dis. Child.* 1960; 35: 544–547.
11. Doné E., Gucciardo L., Mieghem T.V., Jani J., Cannie M., Van Schoubroeck D., Devlieger R., Catte L.D., Klaritsch P., Mayer S., Beck V., Debeer A., Gratacos E., Nicolaides K., Deprest J. Prenatal diagnosis, prediction of outcome and in utero therapy of isolated congenital diaphragmatic hernia. *Prenat. Diagn.* 2008; 28: 581–591. DOI: 10.1002/pd.2033.
12. Gucciardo L., Deprest J., Doné E., Van Mieghem T., Van de Velde M., Gratacos E., Jani J., Peralta F., Nicolaides K. Prediction of outcome in isolated congenital



- diaphragmatic hernia and its consequences for fetal therapy. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynecol.* 2008; 22 (1): 123–138. DOI: 10.1016/j.bpobgyn.2007.08.006.
13. Avrelkina E.V., Peretyatko L.P., Gerasimova L.I. Criteria for primary/secondary pulmonary hypoplasia when the false left-sided congenital diaphragmatic hernia. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2014; 4: 314. (in Russian)
 14. Galambos C., Demello D.E. Regulation of alveologenesis: clinical implications of impaired growth. *Pathology.* 2008; 40: 124–140. DOI: 10.1080/00313020701818981.
 15. Demidov V.N., Mashinets N.V., Podurovskaya Yu.L., Burov A.A. Fetal congenital diaphragmatic hernia: ultrasound diagnosis possibilities and prediction of postnatal outcome. *Akusherstvo i ginekologiya.* 2014; 4: 38–45. (In Russian)
 16. Gallot D., Boda C., Ughetto S., Perthus I., Robert-Gnansia E., Francannet C., Laurichesse-Delmas H., Jani J., Coste K., Deprest J., Labbe A., Sapin V., Lemery D. Prenatal detection and outcome of congenital diaphragmatic hernia: a French registry-based study. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007; 29: 276–283. DOI: 10.1002/uog.3863.
 17. Mashinets N.V. Fetal diaphragmatic hernia: Diagnosis, treatment, postnatal outcomes. *Akusherstvo i ginekologiya.* 2016; 2: 20–27. (In Russian)
DOI: <http://dx.doi.org/10.18565/aig.2016.2.20-26>.
 18. Vintzileos A.M., Campbell W.A., Rodis J.F., Nochimson D.J., Pinette M.G., Petrikovsky B.M. Comparison of six different ultrasonographic methods for predicting lethal fetal pulmonary hypoplasia. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1989; 162: 606–612.
 19. Peralta C.F., Cavoretto P., Csapo B., Vandecruys H., Nicolaides K.H. Assessment of lung area in normal fetuses at 12–32 weeks. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2005; 26: 718–724. DOI: 10.1002/uog.2651.
 20. Yoshimura S., Masuzaki H., Gotoh H., Fukuda H., Ishimaru T. Ultrasonographic prediction of lethal pulmonary hypoplasia: comparison of eight different ultrasonographic parameters. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1996; 175: 477–483.
 21. Metkus A.P., Filly R.A., Stringer M.D., Harrison M.R., Adzick N.S. Sonographic predictors of survival in fetal diaphragmatic hernia. *J. Pediatr. Surg.* 1996; 31: 148–151.
 22. Jani J., Keller R.L., Benachi A., Nicolaides K.H., Favre R., Gratacos E., Laudy J., Eisenberg V., Eggink A., Vaast P., Deprest J., Antenatal-CDH-Registry Group. Prenatal prediction of survival in isolated left-sided diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2006; 27: 18–22. DOI: 10.1002/uog.2688.
 23. Jani J.C., Peralta C.F.A., Nicolaides K.H. Lung-to-head ratio to unify the technique. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2012; 39: 2–6. DOI: 10.1002/uog.11065.
 24. Doné E., Gucciardo L., Mieghem T.V., Jani J., Cannie M., Van Schoubroeck D., Devlieger R., Catte L.D., Klaritsch P., Mayer S., Beck V., Debeer A., Gratacos E., Nicolaides K., Deprest J. Prenatal diagnosis, prediction of outcome and in utero therapy of isolated congenital diaphragmatic hernia. *Prenat. Diagn.* 2008; 28: 581–591. DOI: 10.1002/pd.2033.
 25. Kasprian G., Balassy C., Brugger P.C., Prayer D. MRI of normal and pathological fetal lung development. *Eur. J. Radiol.* 2006; 57: 261–270. DOI: 10.1016/j.ejrad.2005.11.031.
 26. Triebwasser J.E., Treadwell M.C. Prenatal prediction of pulmonary hypoplasia. *Semin. Fetal. Neonatal Med.* 2017; 15. DOI: 10.1016/j.siny.2017.03.001.
 27. Tanigaki S., Miyakoshi K., Tanaka M., Hattori Y., Matsu-moto T., Ueno K., Uehara K., Nishimura O., Minegishi K., Ishimoto H., Shinmoto H., Ikeda K., Yoshimura Y. Pulmonary hypoplasia: prediction with use of ratio of MR imaging-measured fetal lung volume to US-estimated fetal body weight. *Radiology.* 2004; 232: 767–772. DOI: 10.1148/radiol.2323030359.
 28. Jani J., Cannie M., Sonigo P., Robert Y., Moreno O., Benachi A., Vaast P., Gratacos E., Nicolaides K.H., Deprest J. Value of prenatal magnetic resonance imaging in the prediction of postnatal outcome in fetuses with diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 32: 793–799. DOI: 10.1002/uog.6234.
 29. Thayyil S., Sebire N.J., Chitty L.S., Wade A., Chong W., Olsen O., Gunny R.S., Offiah A.C., Owens C.M., Saunders D.E., Scott R.J., Jones R., Norman W., Addison S., Bainbridge A., Cady E.B., Vita E.D., Robertson N.J., Taylor A.M., MARIAS collaborative group. Post-mortem MRI versus conventional autopsy in fetuses and children: a prospective validation study. *Lancet.* 2013; 382: 223–233. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60134-8.
 30. Tumanova U.N., Shchegolev A.I. Postmortem magnetic resonance tomography of fetuses and newborns. *Medical Visualization.* 2015; 5: 128–136. (in Russian)
 31. Tumanova U.N., Shchegolev A.I. Possibilities and limitations of virtual autopsy in neonatology. *REJR.* 2017; 1: 20–33. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-1-20-33. (In Russian)
 32. Tumanova U.N., Bychenko V.G., Liapin V.M., Voevodin S.M., Shchegolev A.I. Congenital diaphragmatic hernia in a newborn: MRI – pathomorphological comparisons. *Medical Visualization.* 2014; 4: 72–83. (In Russian)
 33. Arthurs O.J., Thayyil S., Olsen O.E., Addison S., Wade A., Jones R., Norman W., Scott R.J., Robertson N.J., Taylor A.M., Chitty L.S., Sebire N.J., Owens C.M. Magnetic Resonance Imaging Autopsy Study (MaRIAS) Collaborative Group. Diagnostic accuracy of post-mortem MRI for thoracic abnormalities in fetuses and children. *Eur. Radiol.* 2014; 24: 2876–2884. DOI: 10.1007/s00330-014-3313-8.
 34. Tumanova U., Lyapin V., Bychenko V.G., Shchegolev A.I., Sukhikh G.T. Postmortem magnetic resonance imaging in the diagnosis of congenital pneumonia. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta.* 2016; 4: 48–55. (In Russian)
 35. Tumanova U.N., Lyapin V.M., Shchegolev A.I., Sukhikh G.T. The possibility of postmortem MRI in the diagnosis of congenital pneumonia. *Virchows Arch.* 2016; 469 (S1): S183.
 36. Tumanova U., Lyapin V., Bychenko V.G., Voevodin S.M., Shchegolev A.I. Method of postmortem diagnosis of congenital pneumonia in a newborn. Patent RUS 2609462 16.02.2016. (In Russian)
 37. Thayyil S., Schievano S., Robertson N.J., Jones R., Chitty L.S., Sebire N.J., Taylor A.M., MaRIAS (Magnetic Resonance Imaging Autopsy Study) Collaborative group. A semi-automated method for non-invasive internal organ weight estimation by post-mortem magnetic resonance imaging in fetuses, newborns and children. *Eur. J. Radiol.* 2009; 72: 321–326. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.07.013.

Поступила в редакцию 19.04.2017.
Принята к печати 16.06.2017.

Received on 19.04.2017.
Accepted for publication on 16.06.2017.