



Магнитно-резонансная томография при гипоксически-ишемических поражениях мозга у новорожденных: эволюция взглядов и перспективы развития

П.А. Романов¹, П.Л. Соколов¹ ✉, А.Г. Притыко¹, Н.В. Чебаненко^{2, 3}

¹ ГБУЗ «Научно-практический центр специализированной помощи детям имени В.Ф. Войно-Ясенецкого Департамента здравоохранения города Москвы»; Россия, г. Москва

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, г. Москва

³ ООО «Геномед»; Россия, г. Москва

РЕЗЮМЕ

Цель обзора: на основе изучения большого объема доступной информации создать представление о применении магнитно-резонансной томографии (МРТ) при гипоксически-ишемических поражениях головного мозга у новорожденных, описать имеющиеся алгоритмы исследования, классификации, сферу использования методики и ее информативность при названной патологии.

Основные положения. МРТ давно вошла в привычную практику невропедиатрического стационара. На сегодняшний день обследование по этой методике обладает едва ли не абсолютной значимостью в диагностике перинатальных гипоксически-ишемических поражений мозга. Кроме того, данные МРТ помогают объективизировать эффективность лечебных воздействий и прогнозировать дальнейшее развитие ребенка с перинатальным поражением головного мозга. Существует несколько классификаций МРТ-изменений при гипоксически-ишемических поражениях мозга у новорожденных детей. Они обладают различной чувствительностью к неглубоким, начальным гипоксически-ишемическим изменениям в мозге ребенка, но тем не менее позволяют ориентировочно представить процесс их формирования в динамике в морфологическом аспекте по схеме «перивентрикулярное белое вещество — подкорковые ганглии и зрительный бугор — подкорковые структуры полушарий и кора». Тем самым структуры-мишени гипоксически-ишемического поражения дают возможность выделить основные его паттерны: поражения нейрональных структур, лейкопатии и их сочетание.

Заключение. Исследования МРТ-феноменов как предикторов патологии развития показывают, что повышение детализации увеличивает точность прогноза. Однако имеющиеся данные не позволяют на сегодняшний день сформировать полноценную пространственную модель развития гипоксически-ишемических изменений в мозге новорожденного при усугублении воздействия гипоксического фактора. Видится совершенно необходимым создание трехмерной модели ее формирования в зависимости от времени и интенсивности воздействия ишемического процесса, что позволит разработать морфологически и патофизиологически обоснованную классификацию перинатальных энцефалопатий по гемодинамическому механизму их формирования.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, гипоксия-ишемия, гипоксически-ишемическое поражение мозга, новорожденные, церебральный паралич.

Для цитирования: Романов П.А., Соколов П.Л., Притыко А.Г., Чебаненко Н.В. Магнитно-резонансная томография при гипоксически-ишемических поражениях мозга у новорожденных: эволюция взглядов и перспективы развития. Доктор.Ру. 2023;22(3):51–55. DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-3-51-55

Magnetic Resonance Imaging in Hypoxic-Ischemic Brain Lesions in Newborns: Evolution of Views and Development Prospects

P.A. Romanov¹, P.L. Sokolov¹ ✉, A.G. Prityko¹, N.V. Chebanenko^{2, 3}

¹ V.F. Voino-Yasensky Scientific and Practical Center of Specialized Medical Care for Children; 38 Aviatorov Str., Moscow, Russian Federation 119619

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; 2/1 Barrikadnaya Str., build. 1, Moscow, Russian Federation 125993

³ LLC Genomed; 8 Podolskoe Highway, build. 5, Moscow, Russian Federation 115093

ABSTRACT

Aim: Based on the study of a large amount of available information, to create an idea of the use of magnetic resonance imaging (MRI) in hypoxic-ischemic brain lesions in newborns, to present the available research algorithms, classifications, the scope of the technique and its information content in the named pathology.

Key points. MRI has long been a common practice in a neuropediatric hospital. To date, examination by this method has absolute significance in the diagnosis of perinatal hypoxic-ischemic brain lesions. In addition, MRI data help to objectify the effectiveness of therapeutic interventions and predict the further development of a child with perinatal brain damage. There are several classifications of MRI changes in hypoxic-ischemic brain lesions in newborns. These classifications have varying degrees of sensitivity to the initial hypoxic-ischemic changes in the child's brain, however, allow us to roughly represent the process of their formation in dynamics in the morphological aspect

✉ Соколов Павел Леонидович / Sokolov, P.L. — E-mail: psok.sci@gmail.com



according to the scheme “periventricular white matter — subcortical ganglia and thalamus — subcortical structures of the hemispheres and cerebral cortex”. Thus, the target structures of hypoxic ischemic lesions allow us to identify its main patterns: lesions of neuronal structures, leukopathy, and their combination.

Conclusion. Studies of MRI phenomena as predictors of developmental pathology show that an increase in detail increases the accuracy of the prognosis. However, the available data do not currently allow us to form a spatial model for the development of hypoxic-ischemic changes in the brain of a newborn. It seems necessary to create such a model depending on the time and intensity of the impact of the ischemic process. This will allow developing a morphological and pathophysiological classification of perinatal encephalopathies.

Keywords: magnetic resonance imaging, hypoxia-ischemia, hypoxic-ischemic brain damage, newborns, cerebral palsy.

For citation: Romanov P.A., Sokolov P.L., Prityko A.G., Chebanenko N.V. Magnetic resonance imaging in hypoxic-ischemic brain lesions in newborns: evolution of views and development prospects. Doctor.Ru. 2023;22(3):51–55. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-3-51-55

Магнитно-резонансная томография (МРТ) введена в медицинскую практику в конце 1980-х годов. В период до 2014–2015 гг. происходили накопление клинических и экспериментальных данных, создание новых методов, способов обработки сигнала и дополнительных инструментов визуализации. Огромный прогресс совершился в разработке сканеров, возможности которых в настоящее время позволяют учесть интересы, видимо, любого клинициста.

Сегодня мы уже подошли к тому, что появился и прижился термин «рутинное МРТ-исследование». Действительно, МРТ в классическом техническом выражении стала рутинной. Она стала более доступной благодаря увеличению количества произведенных и установленных МРТ-сканеров и снижению стоимости исследования.

Технической основой методики является регистрация колебаний атомов водорода (протонов) в постоянном магнитном поле под действием электромагнитного излучения. Основа визуализационного эффекта — регистрация различной представленности воды в тканях.

На сегодняшний день накоплен богатый клинический опыт, который позволил детально регламентировать процесс нейровизуализационных исследований при гипоксически-ишемических поражениях головного мозга, в том числе в периоде новорожденности и др. [1–7].

Исследования, проведенные на начальном этапе, заложили основы МРТ-семиотики перинатальных гипоксически-ишемических поражений мозга [3]. История ее изучения знает несколько попыток, или подходов, к упорядочению и классификации перинатальных гипоксически-ишемических поражений мозга. На первом этапе были описаны основные МРТ-феномены гипоксически-ишемического поражения головного мозга.

L.T.L. Sie и соавт. объединили такого рода изменения в три группы:

- 1) перивентрикулярная лейкомаляция;
- 2) поражения базальных ганглиев и/или таламуса;
- 3) поликистозная энцефалопатия, сопровождающаяся повреждением базальных ганглиев, таламуса и/или коры головного мозга [8].

По мнению J. Valk и соавт., серьезное гипоксическое воздействие у доношенных детей приводит к повреждению серого вещества, особенно базальных ганглиев и таламуса, по типу «селективного нейронального некроза» [9].

M. Rutherford и соавт. описали три стадии, или степени, поражения в зависимости от интенсивности гипоксического воздействия: легкую, среднюю и тяжелую [10].

Нормальный сигнал от задней ножки внутренней капсулы на T1- и T2-взвешенных изображениях и очаговый характер поражений, видимых в базальных ганглиях, типичны для легкого селективного некроза нейронов.

Умеренная форма этого состояния характеризуется более серьезными изменениями сигнала от задней ножки внутрен-

ней капсулы, а очаговые изменения затрагивают заднебоковую часть чечевицеобразного ядра и боковую часть таламуса.

При тяжелой форме селективного нейронального некроза всегда вовлекается задняя ножка внутренней капсулы, а также присутствуют диффузные изменения в базальных ганглиях, которые могут распространяться на средний мозг. В особо тяжелых случаях поражение может переходить на полушария, причем как на кору, так и на подкорковое белое вещество [10].

Есть мнение, что при воздействии тяжелой гипоксии в дополнение к селективному нейрональному некрозу может формироваться полость в белом веществе с вовлечением базальных ганглиев, таламуса и/или коры головного мозга [9].

M. Rutherford и соавт. выделяют и такие паттерны, как изолированное поражение белого вещества головного мозга без элементов селективного нейронального некроза, очаговые ишемические инфаркты в бассейне средней мозговой артерии, чаще слева, и «глобальный ишемический инсульт». Видимо, исходом глобального инсульта является мультикистозная энцефаломалиция, или поликистозная энцефалопатия, описанная L.T.L. Sie и соавт. [8].

Тот же тип поражения описывается F. Cowan и соавт. как «распространяющийся на глубинные структуры, перивентрикулярное белое вещество, кору и подкорку полушарий» [1, 11].

A.J. Barkovich и соавт. в процессе анализа постгипоксических изменений у детей 7–10 дней от рождения разделили полученные данные на четыре группы [12]. В первой группе аномальный сигнал отмечался в основном в глубинных структурах — подкорковых ганглиях и задней ножке внутренней капсулы. Во второй группе аномалии сигналов были в первую очередь корковыми (в глубинных слоях борозд и преимущественно в перироландической области). В третьей аномальным был сигнал в перивентрикулярном белом веществе, а точнее — в белом веществе перивентрикулярной зоны с распространением на белое вещество подкорково-полушарной локализации. В четвертой группе картина включала в себя поражения и глубинных структур, и перивентрикулярного белого вещества, и коры, и подкорки полушарий.

Новый импульс работы по изучению визуализационных особенностей гипоксически-ишемических поражений мозга получили при введении в практику метода терапевтической гипотермии. Основным запросом клиницистов состоял в МРТ-объективизации динамики на фоне лечения для оценки его эффективности. Исследования в этом направлении продолжают по сей день [13], и результатом их являются более глубокая детализация МРТ-изменений, а также увязка полученных данных со стадийностью ишемизации головного мозга при гипоксии.

В последние годы представлены способы оценки данных МРТ головного мозга S.B. Trivedi и соавт. и L.C. Weeke и соавт. [6, 14]. Основным стимулом для их создания стала необходимость количественной, балльной оценки выраженности гипоксически-ишемических изменений в головном

мозге новорожденного не только для объективизации имеющихся на момент исследования изменений, но и для выработки алгоритмов прогнозирования состояния ребенка в отдаленной перспективе (прогноза жизни, степени утраты двигательных и ментальных функций и т. д.).

По S.B. Trivedi и соавт., оценке подлежат пять областей [6]:

1) подкорковые образования, в том числе хвостатое ядро, бледный шар и скорлупа, таламус и задняя ножка внутренней капсулы;

2) белое вещество;

3) кора;

4) мозжечок;

5) ствол мозга.

Выраженность МРТ-изменений подразделяется на легкую, среднюю или тяжелую. МРТ-исследование проводится в трех режимах — стандартных T1 и T2 и DWI. При этом в оценке степени поражения базальных ганглиев режим DWI не используется.

Изменения оцениваются следующим образом:

1 — норма;

2 — легкая очаговая аномалия, поражающая < 25% анатомической области;

3 — умеренная многоочаговая аномалия, поражающая 25–50% анатомической области;

4 — тяжелая распространенная аномалия, поражающая более 50% анатомической области.

Определяется состояние анатомических структур в упомянутых областях слева и справа, и получается по две оценки на каждую анатомическую область и в целом шесть. Предполагается включение в оценку и наличия внутрижелудочкового кровоизлияния.

Система L.C. Weeke и соавт. [14] характеризует повреждение головного мозга в трех областях.

1. Серое вещество глубинной локализации (это при дословном переводе, анатомически корректнее именовать группу глубинными структурами мозга по причине наличия в ней миелинизированного коллектора — внутренней капсулы). Оценке подлежат таламус, базальные ганглии, задняя ножка внутренней капсулы, ствол мозга, перироландическая кора, гиппокамп.

2. Кора и подкорка полушарий. Оценке подлежат кора, белое вещество головного мозга, оптические излучения, мозолистое тело, наличие точечных поражений белого вещества и паренхиматозных кровоизлияний.

3. Мозжечок: оценке подлежат структура мозжечка и наличие либо отсутствие кровоизлияний.

Дополнительно характеризуются (при наличии) внутрижелудочковые, субдуральные кровоизлияния либо признаки сино-венозного тромбоза.

Методика оценки:

0 — отсутствие повреждения;

1 — очаговое (< 50%);

2 — обширное (≥ 50%) одностороннее (1 балл);

3 — обширное (≥ 50%) двустороннее (2 балла).

Итак, в процессе анализа гипоксически-ишемических изменений на МРТ используются следующие ориентиры, наличие изменений в которых позволяет не только группировать клинические случаи, но и классифицировать их по степени тяжести: задняя ножка внутренней капсулы, перивентрикулярное белое вещество, субкортикальное белое вещество больших полушарий, базальные ганглии и зрительный бугор; они выделяются в различные варианты диффузного поражения вещества головного мозга.

При этом L.T.L. Sie и соавт. в качестве «начального уровня» поражения называют перивентрикулярную лейкомаляцию, J. Valk и соавт., F. Cowan и соавт. применяют поражение задней ножки внутренней капсулы как показатель тяжести селективного нейронального некроза. A.J. Barkovich и соавт. выделили три группы гипоксически-ишемических поражений мозга у новорожденных и начали сразу с поражений по типу селективного нейронального некроза, отнеся к первой группе «легкие» и «умеренные», по M. Rutherford, случаи, ко второй — изменения в коре больших полушарий. В третью группу они поместили случаи поражения белого вещества перивентрикулярной зоны и совместили их с распространением на белое вещество подкорково-полушарной локализации. Они также выделяют комбинацию поражения и глубинных структур, и перивентрикулярного белого вещества, и коры и подкорки полушарий. «Примерно у 50% новорожденных поражения базальных ганглиев и таламуса могут сочетаться с аномалиями белого вещества» [1, 8, 12].

При этом наиболее подробно топика гипоксически-ишемического поражения представляется при использовании методик S.B. Trivedi и соавт. и L.C. Week и соавт. [6, 14]. Видимо, причиной тому — создание указанных методик для количественной оценки эффективности терапевтического воздействия краниocereбральной гипотермии и прогнозирования объема неврологического дефицита у ребенка на выходе из острого состояния.

Необходимо отметить, что все рассмотренные методики являются по большей части описательными, не предполагая патогенетической основы, прежде всего динамики распространения ишемических изменений в мозге под воздействием гипоксии.

S. Shankaran и соавт. удалось не только выделить морфологические типы гипоксически-ишемического поражения мозговой ткани, но и указать на стадийность в их развитии (эта система оценки именуется также шкалой Национального института здоровья и развития ребенка) [15].

Авторы выделили следующие уровни гипоксически-ишемических изменений по степени их выраженности:

0 — норма;

1А — только минимальные церебральные поражения без вовлечения базальных ганглиев или таламуса либо изменения в передней или задней ножках внутренней капсулы при отсутствии инфаркта зоны водораздела;

1В — более обширные церебральные поражения, не затрагивающие базальные ганглии и таламус, заинтересованность либо инфаркт передней или задней ножки внутренней капсулы;

2А — любой степени выраженности изменения в области базальных ганглиев или таламуса, вовлечение передней или задней ножки внутренней капсулы при отсутствии инфаркта зоны водораздела или каких-либо иных признаков гипоксически-ишемического поражения мозговой ткани;

2Б — вовлечение базальных ганглиев и/или таламуса, наличие инфаркта области водораздела или иных церебральных поражений;

3 — поражение полушарий головного мозга.

Основное своеобразие классификации S. Shankaran и соавт. заключается в том, что это именно классификация, то есть она отражает связь между интенсивностью гипоксически-ишемического воздействия и локализацией и степенью выраженности гипоксически-ишемических изменений на МРТ [15].

Кроме того, «точкой отсчета» патологии для авторов являются «минимальные церебральные поражения без вовлечения базальных ганглиев или таламуса либо изменения

в передней или задней ножке внутренней капсулы при отсутствии инфаркта зоны водораздела», что делает чувствительность данного метода оценки глубины изменений в мозге более высокой. Авторы включили поражения передней ножки внутренней капсулы в число значимых критериев оценки глубины гипоксически-ишемических изменений. Выраженность последних определяется тяжестью перенесенной гипоксии-ишемии, и патогенетическая «цепочка» выстраивается, по представлениям авторов, следующим образом: изменения белого вещества без признаков селективного нейронального некроза — поражения подкорковых ганглиев и таламуса — поражение полушарий головного мозга [16].

В качестве отдельного направления сохраняется прогнозирование функционального дефицита в исходе гипоксически-ишемической энцефалопатии в зависимости от локализации и распространенности изменений в мозге, его изучение начали еще М. Rutherford и соавт. [17].

Как уже указывалось, в последние годы наметилась отчетливая тенденция к использованию данных нейроимиджинга в прогнозировании отдаленного ментального и неврологического дефицита [18–20].

У пациентов с неблагоприятным исходом развития нервной системы аномальные МРТ головного мозга новорожденных встречались значительно чаще ($p < 0,001$), при этом при тяжелой гипоксически-ишемической энцефалопатии прогностическое значение МРТ-изменений было более высоким, чем при умеренной [21].

Имеются указания на высокую чувствительность как неонатальной МРТ, так и результатов исследований, выполненных позднее [22].

С целью повышения точности прогнозирования показатели нейроимиджинга сочетаются с данными нейрофизиологических исследований (электроэнцефалограммы, ЭЭГ). Так, «стойкий аномальный фоновый паттерн ЭЭГ до 48 часов в сочетании с аномальными изменениями МРТ в неонатальном периоде считается индикатором плохого прогноза развития нервной системы» [19].

Фоновая амплитудно-интегральная депрессия активности ЭЭГ в возрасте 3 и 4 дней и задержка появления циклической

активности статистически значимо увязываются с выраженными гипоксически-ишемическими изменениями на МРТ и плохим прогнозом развития [20].

Кроме того, для повышения точности прогнозирования данные МРТ сочетаются с объективными и признанными международным сообществом шкалами оценки психомоторного развития, прежде всего Bayley редакции III [23].

По данным S.B. Trivedi и соавт., у 95% детей со значительной выраженностью гипоксически-ишемических изменений на МРТ отмечались низкие показатели в когнитивном, моторном и речевом разделах шкалы Bayley III, высокая частота исходов в церебральный паралич [6, 23].

M.N. Bhroin и соавт. провели сравнительную оценку шкал A.J. Barkovich, S. Shankaran и L.C. Weeke на совпадение с данными шкалы Bayley III [24]. Все три шкалы показали существенную связь с ее моторным и когнитивным разделами, а шкала L.C. Weeke — еще и с речевым. Таким образом, степень детализации гипоксически-ишемических МРТ-изменений повышает прогностическую ценность исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проследили эволюцию использования данных нейроимиджинга при перинатальных гипоксически-ишемических поражениях мозга от чисто описательных до классификационных и связанных с определением прогноза дальнейшего развития нервной системы. Основными трендами совершенствования методики на сегодняшний день, позволяющими увеличить ее диагностическую и прогностическую ценность, являются усиление детализации и использование совместно с нейрофизиологическими и дефектологическими оценочными инструментами.

В качестве «последнего штриха» в понимании всех аспектов формирования гипоксически-ишемической энцефалопатии видится совершенно необходимым создание трехмерной модели ее формирования в зависимости от времени и интенсивности воздействия ишемического процесса, что позволит разработать морфологически и патофизиологически обоснованную классификацию перинатальных энцефалопатий по гемодинамическому механизму их формирования.

Вклад авторов / Contributions

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого из авторов: Романов П.А. — работа с литературными источниками, написание текста обзора; Соколов П.Л. — концепция обзора, редактирование текста, написание текста обзора; Чебаненко Н.В. — работа с литературными источниками, подготовка текста к публикации; Притыко А.Г. — участие в написании текста и редактирование, утверждение рукописи к публикации.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication. Special contribution: Romanov, P.A. — work with literary sources, writing the text of the review; Sokolov, P.L. — the concept of the review, editing the text, writing the text of the review; Chebanenko, N.V. — work with literary sources, preparation of the text for publication; Prityko, A.G. — writing and editing, approval of the manuscript for publication.

Конфликт интересов / Disclosure

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.
The authors declare no conflict of interests.

Об авторах / About the authors

Романов Павел Анатольевич / Romanov, P.A. — заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ «НПЦ спец. мед. помощи детям им. В.Ф. Войно-Ясенецкого ДЗМ». 119619, Россия, г. Москва, ул. Авиаторов, д. 38. eLIBRARY.RU SPIN: 5383-2770. E-mail: prc_romanov@mail.ru

Соколов Павел Леонидович / Sokolov, P.L. — д. м. н., ведущий научный сотрудник группы лучевой диагностики ГБУЗ «НПЦ спец. мед. помощи детям им. В.Ф. Войно-Ясенецкого ДЗМ». 119619, Россия, г. Москва, ул. Авиаторов, д. 38. eLIBRARY.RU SPIN: 6579-9234. <https://orcid.org/0000-0002-0625-1404>. E-mail: psok.sci@gmail.com

Притыко Андрей Георгиевич / Prityko, A.G. — д. м. н., профессор, президент ГБУЗ «НПЦ спец. мед. помощи детям им. В.Ф. Войно-Ясенецкого ДЗМ». 119619, Россия, г. Москва, ул. Авиаторов, д. 38. eLIBRARY.RU SPIN: 5045-6357. <https://orcid.org/0000-0001-8899-4107>. E-mail: prcprakt@mail.ru

Чебаненко Наталья Владимировна / Chebanenko, N.V. — к. м. н., доцент кафедры неврологии детского возраста ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; врач-невролог ООО «Геномед». 125993, Россия, г. Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 4615-1423. <https://orcid.org/0000-0002-7231-0249>. E-mail: nataqwe@yandex.ru

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Cowan F., Rutherford M., Groenendaal F., Eken P. et al. Origin and timing of brain lesions in term infants with neonatal encephalopathy. *Lancet*. 2003;361(9359):736–42. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)12658-X
2. Rutherford M., Ramenghi L.A., Edwards A.D., Brocklehurst P. et al. Assessment of brain tissue injury after moderate hypothermia in neonates with hypoxic-ischaemic encephalopathy: a nested substudy of a randomised controlled trial. *Lancet Neurol*. 2010;9(1):39–45. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70295-9
3. Rutherford M., Srinivasan L., Dyet L., Ward P. et al. Magnetic resonance imaging in perinatal brain injury: clinical presentation, lesions and outcome. *Pediatr. Radiol*. 2006;36(7):582–92. DOI: 10.1007/s00247-006-0164-8
4. Mercuri E., Rutherford M., Barnett A., Foglia C. et al. MRI lesions and infants with neonatal encephalopathy. Is the Apgar score predictive? *Neuropediatrics*. 2002;33(3):150–6. DOI: 10.1055/s-2002-33412
5. Rutherford M.A., Pennock J.M., Counsell S.J., Mercuri E. et al. Abnormal magnetic resonance signal in the internal capsule predicts poor neurodevelopmental outcome in infants with hypoxic-ischaemic encephalopathy. *Pediatrics*. 1998;102(2pt1):323–8. DOI: 10.1542/peds.102.2.323
6. Trivedi S.B., Vesoulis Z.A., Rao R., Liao S.M. et al. A validated clinical MRI injury scoring system in neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy. *Pediatr. Radiol*. 2017;47(11):1491–9. DOI: 10.1007/s00247-017-3893-y
7. Bhagat I., Agarwal P., Sarkar A., Dechert R. et al. Does severity of brain injury on magnetic resonance imaging predict short-term outcome in neonates who received therapeutic hypothermia? *Am. J. Perinatol*. 2021. Online ahead of print. DOI: 10.1055/s-0041-1730431
8. Sie L.T.L., van der Knaap M.S., Oosting J. et al. MR patterns of hypoxic-ischaemic brain damage after prenatal, perinatal or postnatal asphyxia. *Neuropediatrics*. 2000;31(3):128–36. DOI: 10.1055/s-2000-7496
9. Valk J., Vermeulen R.J., van der Knaap M.S. Post-hypoxic-ischaemic encephalopathy of neonates. In: van der Knaap M.S., Valk J. *Magnetic resonance of myelination and myelin disorders*. Berlin — Heidelberg: Springer-Verlag; 2005:718–48. DOI: 10.1007/3-540-27660-2
10. Rutherford M. The asphyxiated term infant. In: *TMR of the neonatal brain*. Rutherford M., ed. London — Toronto: W.B. Saunders; 2002:99–128.
11. Miller S.P., Ramaswamy V., Michelson D., Barkovich A.J. et al. Patterns of brain injury in term neonatal encephalopathy. *J. Pediatr*. 2005;146(4):453–60. DOI: 10.1016/j.jpeds.2004.12.026
12. Barkovich A.J., Westmark K., Partridge C., Sola A. et al. Perinatal asphyxia: MR findings in the first 10 days. *Am. J. Neuroradiol*. 1995;16(3):427–38.
13. Langeslag J.F., Groenendaal F., Roosendaal S.D., de Vries L.S. et al. Outcome prediction and inter-rater comparison of four brain magnetic resonance imaging scoring systems of infants with perinatal asphyxia and therapeutic hypothermia. *Neonatology*. 2022;119(3):311–19. DOI: 10.1159/000522629
14. Weeke L.C., Groenendaal F., Mudigonda K., Blennow M. et al. A novel magnetic resonance imaging score predicts neurodevelopmental outcome after perinatal asphyxia and therapeutic hypothermia. *J. Pediatr*. 2018;192:33–40.e2. DOI: 10.1016/j.jpeds.2017.09.043
15. Shankaran S., Barnes P.D., Hintz S.R., Laptook A.R. et al. Brain injury following trial of hypothermia for neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy. *Arch. Dis. Child Fetal Neonatal*. 2012;97(6):F398–404. DOI: 10.1136/archdischild-2011-301524
16. Ba R.-H., Mao J. Correlation between magnetic resonance imaging score and clinical grading in neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi*. 2018;20(2):83–90. (in Chinese). DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2018.02.001
17. Rutherford M., Pennock J., Schwieso J., Cowan F. et al. Hypoxic-ischaemic encephalopathy: early and late magnetic resonance imaging findings in relation to outcome. *Arch. Dis. Child Fetal Neonatal Ed*. 1996;75(3):F145–51. DOI: 10.1136/fn.75.3.f145
18. Thoresen M., Jary S., Walløe L., Karlsson M. et al. MRI combined with early clinical variables are excellent outcome predictors for newborn infants undergoing therapeutic hypothermia after perinatal asphyxia. *EClinicalMedicine*. 2021;36:100885. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.100885
19. Wispeleere L.A.D., Ouweland S., Olsthoorn M., Govaert P. et al. Electroencephalography and brain magnetic resonance imaging in asphyxia comparing cooled and non-cooled infants. *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2019;23(1):181–90. DOI: 10.1016/j.ejpn.2018.09.001
20. Shany E., Taha N., Benkovich E., Novoa R. et al. Association of cerebral activity with MRI scans in infants with neonatal encephalopathy undergoing therapeutic hypothermia. *Eur. J. Pediatr*. 2019;178(6):851–61. DOI: 10.1007/s00431-019-03364-1
21. Fernández I.S., Morales-Quezada J.L., Law S., Kim P. Prognostic value of brain magnetic resonance imaging in neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy: a meta-analysis. *J. Child Neurol*. 2017;32(13):1065–73. DOI: 10.1177/0883073817726681
22. Charon V., Proisy M., Bretaudeau G., Bruneau B. et al. Early MRI in neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy treated with hypothermia: prognostic role at 2-year follow-up. *Eur. J. Radiol*. 2016;85(8):1366–74. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.05.005
23. Erdi-Krausz G., Rocha R., Brown A., Myneni A. et al. Neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy: motor impairment beyond cerebral palsy. *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2021;35:74–81. DOI: 10.1016/j.ejpn.2021.10.005
24. Bhroin M.N., Kelly L., Sweetman D., Aslam S. et al. Relationship between MRI scoring systems and neurodevelopmental outcome at two years in infants with neonatal encephalopathy. *Pediatr. Neurol*. 2022;126:35–42. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2021.10.005 

Поступила / Received: 02.09.2022

Принята к публикации / Accepted: 26.10.2022