



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1280>

Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике ишемического инсульта у детей

© Мазаев А.П.¹, Молодцов М.С.^{2*}

¹ ГБУЗ города Москвы "Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы"; 119049 Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1/9, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница №67 им. Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы"; 123423 Москва, ул. Саяма Адиля, д. 2/44, Российская Федерация

Цель исследования: изучить особенности визуализации ишемического инсульта у детей на ранних стадиях формирования патологического процесса при помощи магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Материал и методы. Проанализированы результаты МРТ головного мозга (ГМ) у 34 детей с клиническими проявлениями ишемического инсульта (ИИ). В анализируемую группу были включены пациенты в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет, у которых присутствовали очаговые изменения в веществе ГМ при МР-обследовании в периоде не более 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики.

Результаты. МРТ дает возможность установить на ранних сроках развития патологического процесса ишемическое поражение ГМ в 100% наблюдений, а также оценить временные показатели возникновения очаговых изменений на основании анализа и сопоставления импульсных МР-последовательностей, которые позволяют охарактеризовать остроту процесса.

Обсуждение. Анализ полученных данных подтверждает результаты исследований, описанных ранее в зарубежной и отечественной литературе. При этом отмечены отличия в характеристиках МР-сигнала от очага ИИ в период первых 6 ч от начала неврологической симптоматики.

Заключение. МРТ у детей является важным и необходимым исследованием, позволяющим определить формирование ИИ, оценить сроки возникновения и динамику патологического процесса, что способствует своевременному выявлению очаговых изменений структур ГМ на ранних сроках.

Ключевые слова: инсульт у детей, ишемический инсульт, МРТ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Мазаев А.П., Молодцов М.С. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике ишемического инсульта у детей. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (3): 130–140.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1280>

Поступила в редакцию: 09.11.2022.

Принята к печати: 22.11.2022.

Опубликована online: 17.07.2023.

Possibilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of ischemic stroke in children

© Alexander P. Mazaev¹, Maksim S. Molodtsov^{2*}

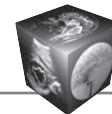
¹ Morozov Children's Clinical Hospital; 1/9, 4 Dobryninsky per., Moscow 119049, Russian Federation

² L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital (City Hospital No67); 2/44, Salyama Adilya str., Moscow 123423, Russian Federation

Research objective. To study the features of visualization of ischemic stroke in children at the early stages of the formation of the pathological process using magnetic resonance imaging.

Material and methods. The results of magnetic resonance imaging (MRI) examination of 34 children with clinical manifestations of ischemic stroke (IS) were analyzed. The analyzed group included patients aged from the 29th day of life to 18 years who had focal changes in the brain substance (BS) during an MRI examination within a period of not more than 48 hours from the onset of neurological symptoms.

Results. MRI makes it possible to establish in the early stages of the development of the pathological process the ischemic lesion of the BS in 100% of cases, as well as to evaluate the time indicators of the occurrence of focal



changes, based on the analysis and comparison of pulsed MRI sequences, which allow characterizing the severity of the process.

Discussion. The analysis of data obtained confirms the results of studies described earlier in the foreign and domestic literature. Moreover, there is a difference in the MR signal specifications from the IS focus during the first 6 hours upon occurrence of the neurological symptoms.

Conclusions/findings. The MRI studies in children are important and necessary to determine the IS formation, evaluate the onset and dynamics of the pathological process that contribute to the timely detection of focal changes in the brain structures at the early stages.

Keywords: stroke in children, ischemic stroke, MRI

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was not sponsored.

For citation: Mazaev A.P., Molodtsov M.S. Possibilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of ischemic stroke in children. *Medical Visualization*. 2023; 27 (3):130–140. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1280>

Received: 09.11.2022.

Accepted for publication: 22.11.2022.

Published online: 17.07.2023.

Введение

Лучевая диагностика ишемического инсульта (ИИ) у пациентов детского возраста является важной проблемой в педиатрии. Своевременное выявление органических изменений в структуре головного мозга у детей с клинической картиной инсульта является важной задачей для методов нейровизуализации. Актуальность изучения проблемы инсульта в детском возрасте связана с высокой летальностью (3–30%). По данным литературы, до 90% пациентов, перенесших ИИ, будут подвержены инвалидизации в виде стойкого неврологического дефицита, проблемы дальнейшего развития и неспособности к самообслуживанию [1, 2]. Эпидемиологические данные ИИ в разных странах не превышают значений 13 : 100 000 населения в год [3].

Отличие факторов риска возникновения ИИ у детей по сравнению со взрослым населением и разнообразие клинических проявлений создает серьезные трудности в выявлении возникновения ишемии. В 20% случаев этиология ИИ остается до конца не выясненной [4, 5].

С развитием современных методов нейровизуализации становится возможным быстро и точно определить тип нарушения мозгового кровообращения, его локализацию и размеры, оценить состояние сосудистой системы головного мозга, а также выявить патологические процессы, приводящие к клинической картине инсульта [6, 7]. Методом, обладающим высокой чувствительностью к очагам ишемии на разных стадиях патологического процесса, является магнитно-резонансная томография (МРТ). Для решения данной задачи необходимо использование стандартных протоколов сканирования, а именно: T1- и T2-взвешенных изображений (ВИ), протоколов FLAIR (Fluid Attenuation Inversion Recovery), диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) в сочетании с измеряемым

коэффициентом диффузии (ИКД) и T2*/SWI [8, 9]. Протокол ДВИ в сочетании с ИКД является наиболее чувствительным при ишемическом поражении головного мозга и позволяет визуализировать патологический процесс на начальных этапах острой стадии [8, 10] с высокой чувствительностью (88–100%) и специфичностью (86–100%) [10]. Помимо ДВИ в сочетании с ИКД, ранняя визуализация ИИ возможна при помощи импульсных последовательностей (ИП) T2ВИ и FLAIR, которые позволяют визуализировать ИИ в первые 3–8 ч с момента возникновения неврологической симптоматики [11].

Этиология и особенности патофизиологического течения ИИ у пациентов детского возраста вносят свой вклад в терапию данного заболевания [12, 13]. Развитие методов лечения ИИ у детей необходимо не только для быстрого выявления патологического процесса, определения локализации, размеров и причины возникновения поражения, но и для установления времени с момента его возникновения [14]. В научной литературе отмечено, что физиология раннего детского возраста вносит свой вклад в особенности визуализации ИИ [14, 15].

Цель исследования

Изучить особенности визуализации ИИ у детей на ранних стадиях формирования патологического процесса при помощи МРТ.

Материал и методы

Проведен анализ результатов МРТ-обследования 34 пациентов с клиническими признаками острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) на базе Морозовской детской городской клинической больницы. В анализируемую группу были включены пациенты в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет, у которых присутствовали очаго-

**Таблица 1.** Возрастная вариация детей с ишемическим инсультом головного мозга**Table 1.** Age variation in children with cerebral ischemic stroke

Возраст пациентов, годы / Age of patients, years	0–2	2–5	5–9	10–18
Количество пациентов / Number of patients (n = 34)	6	7	10	11

вые изменения в веществе головного мозга при МР-обследовании в период не более 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики. МРТ головного мозга выполнялась с использованием следующих ИП: T2, T1, FLAIR, ДВИ с построением ИКД-карт, SWI/T2*. Для пациентов раннего детского возраста МР-исследования проводились с наркозом под контролем анестезиолога, что позволяло нивелировать динамические артефакты. В сложных дифференциальных диагностических случаях исследования проводились с внутривенным введением контрастного вещества.

Среди обследованных пациентов был 21 мальчик и 13 девочек. Распределение по возрасту представлено в табл. 1.

Как видно из табл. 1, встречаемость ИИ у пациентов детского возраста чаще наблюдалась в период от 5 до 18 лет.

Результаты

Проведен анализ МР-исследований 34 пациентов с клинической картиной ОНМК. Распределение пациентов в зависимости от времени проведения МРТ с момента начала неврологической симптоматики было следующим: в первые 6 ч обследовано 10 пациентов, в период 6–48 ч – 24 пациента. Результаты анализа визуализации очагов ИИ на МР-томограммах в зависимости от времени возникновения неврологической симптоматики представлены в табл. 2. МРТ позволила визуализировать очаговые изменения вещества головного мозга поперечным размером от 3 до 68 мм (средний размер 25,9 мм, медиана 22,5 мм) независимо от анатомической локализации ИИ.

При анализе МРТ-изображений 34 детей, обследованных в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики, в 29,4% (n = 10) наблюдений установлена острейшая стадия ИИ (первые 6 ч от момента возникновения неврологической симптоматики) в результате совокупного анализа T2ВИ, FLAIR и ДВИ (b = 1000) с построением ИКД-карты (рис. 1). В острейшую стадию ИИ определялся как зона с рестрикцией диффузии, при этом размеры зоны ишемического поражения не влияли на ее выявляемость при анализе ДВИ с фактором b = 1000 в сочетании с ИКД.

Из 10 (100%) детей с острейшей стадией ИИ у 50% (n = 5) на T2ВИ и в 60% (n = 6) наблюдений на FLAIR в веществе головного мозга не выявлено патологических очаговых изменений, которые соответствовали клинической картине ОНМК по ишемическому типу (рис. 2). В 30% случаев отмечались слабый повышенный сигнал на T2ВИ и FLAIR, а также слабое снижение сигнала на T1ВИ. В 20% (n = 2) на T2ВИ и в 10% (n = 2) на FLAIR отмечался неоднородный слабый повышенный сигнал, а также неоднородный слабopониженный сигнал на T1ВИ у 10% (n = 1), вероятно, возникающий на фоне формирующегося цитотоксического отека. В 60% (n = 6) наблюдений на T1ВИ патологически измененного МР-сигнала не выявлено. При анализе сверхострой стадии ИИ сопоставлены МР-изображения на T2ВИ и FLAIR, в результате чего установлено, что в 90% (n = 9) случаев данные, полученные на этих двух ИП, совпадали.

Режим SWI/T2* использован в 8 наблюдениях. В 37,5% (n = 3) наблюдений отмечалось слабopовыраженное неоднородное снижение МР-сигнала на SWI/T2* от зоны ИИ, при этом в остальных случаях изменений не выявлено.

При анализе МРТ-изображений 24 детей, обследованных в период 6–48 ч с момента возникновения неврологической симптоматики, зона ишемического поражения головного мозга имела в основном однозначные характеристики МР-сигнала на T2ВИ, FLAIR, T1ВИ, ДВИ (b = 1000) и ИКД-карте, а визуализация изменений была возможна во всех случаях (рис. 3).

Наличие ИИ было диагностировано в 100% (n = 24) случаев на ДВИ с фактором b = 1000 с построением ИКД-карты как зона с рестрикцией диффузии, а именно отмечено повышение МР-сигнала на ДВИ с фактором b = 1000 и снижение сигнала на ИКД-карте. Повышение МР-сигнала на ДВИ с фактором b = 1000 и снижение на ИКД-карте было выявлено в 95,8% (n = 23) наблюдений. В одном случае неоднородный сигнал визуализировался на ДВИ с фактором b = 1000 и на ИКД-карте, при котором определялся неоднородно повышенный МР-сигнал на ДВИ (b = 1000) и неоднородно пониженный на ИКД.

В 91,7% (n = 22) случаев участок ИИ характеризовался повышением МР-сигнала на T2ВИ и снижением на T1ВИ, в 8,3% (n = 2) случаев сигнал был

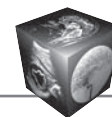


Таблица 2. МР-визуализация ишемического инсульта в зависимости от стадии патологического процесса
Table 2. MR imaging of ischemic stroke depending on the stage of the pathological process

Импульсные последовательности Pulse sequences	Острейшая стадия (0–6 ч) Hyperacute stage (0–6 hours)	Острая стадия (6–48 ч) Acute stage (6–48 hours)
T2	50% – отсутствие изменений / no change 30% – слабоповышенный / slightly elevated 20% – слабо неоднородно повышенный / slightly non-uniformly increased	91.7% – повышенный / increased 8.3% – неоднородно повышенный / non-uniformly elevated
FLAIR	60% – отсутствие изменений / no change 30% – слабый повышенный / weak increased 10% – слабо неоднородно повышенный / slightly non-uniformly elevated	87.5% – повышенный / increased 12.5% – неоднородно повышенный / non-uniformly elevated
T1	60% – отсутствие изменений / no change 30% – слабопониженный / slightly reduced 10% – слабо неоднородно пониженный / slightly inhomogeneously low	91.7% – пониженный / reduced 8.3% – неоднородно пониженный / heterogeneously low
T1+contrast	Отсутствие накопления контрастного препарата No accumulation of contrast agent	Может присутствовать очаговое или гиральное контрастирование Focal or gyral enhancement may be present Может присутствовать ипсилатеральное усиление сосудистого рисунка Ipsilateral enhancement of vascular pattern may be present
ДВИ с фактором b = 1000 DWI b = 1000	Повышенный / Elevated	Повышенный / Elevated
ИКД / ADC	Пониженный / Reduced	Пониженный / Reduced
SWI/T2*	62.5% – отсутствие изменений / no change 37.5% – слабо неоднородно пониженный / slightly heterogeneously low	35.3% – повышенный / increased 47.1% – неоднородно повышенный / non-uniformly elevated 11.7% – слабопониженный / slightly reduced 5.9% – отсутствие изменений / no change
МР-признаки, встречающиеся в этот временной промежуток MR signs occurring during this time period	В 30% отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на T2ВИ и FLAIR In 30% absence of the “empty flow” phenomenon from the ipsilateral side on T2WI and flair Редко (10%) слабовыраженный масс-эффект Rarely (10%) mild masseffect	В 20.8% отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на T2ВИ и FLAIR In 20.8%, the phenomenon of “empty flow” was absent from the ipsilateral side on T2WI and FLAIR Редко (4%) встречается геморрагическое пропитывание Rarely (4%) hemorrhagic impregnation occurs В 41% наличие перифокального менее выраженного цитотоксического отека In 41%, the presence of less pronounced perifocal cytotoxic edema В 58,3% наличие масс-эффекта In 58.3%, the presence of a mass effect

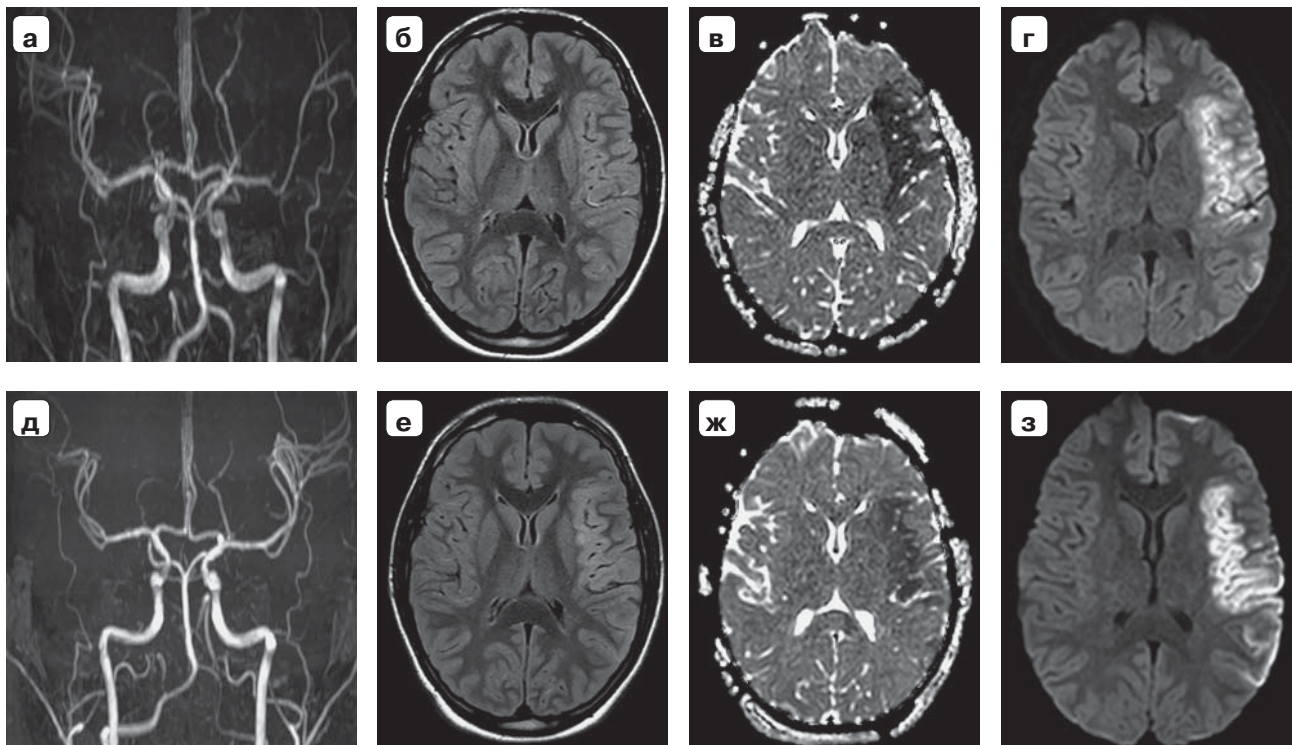


Рис. 1. МРТ-исследование пациента 17 лет в первые 6 ч (**а, б, в, г**) и через сутки (**д, е, ж, з**) с момента возникновения неврологической симптоматики.

На серии полученных изображений в левых лобной, островковой и теменной долях отмечается зона рестрикции диффузии (пониженный МР-сигнал на ИКД (**в, ж**) и повышенный на ДВИ с фактором $b=1000$ (**г, з**)). В режиме FLAIR в первые 6 ч (**б**) очагового поражения не выявлено, при этом отмечено повышение МР-сигнала от просвета сосуда на уровне зоны рестрикции диффузии (отсутствие “феномена пустоты потока”), а спустя сутки (**е**) отмечается появление зоны повышенного сигнала. На МР-ангиограммах (**а**) визуализируется снижение интенсивности МР-сигнала от кровотока и обеднение кровотока по левой средней мозговой артерии с последующей нормализацией через сутки (**д**).

Fig. 1. MRI examination of a 17-year-old boy in the first 6 hours (**а, б, в, г**) and a day later (**д, е, ж, з**) from the onset of neurological symptoms.

On a series of obtained images in the left frontal, insular and parietal lobes, there is a zone of diffusion restriction (reduced MR signal on ADC (**в, ж**) and increased on DWI $b = 1000$ (**г, з**)). In the FLAIR mode, in the first 6 hours (**б**) no focal lesion was detected, while an increase in the MR signal from the lumen of the vessel at the level of the diffusion restriction zone was noted (the absence of the “flow void phenomenon”), and a day later (**е**) the appearance of an increased signal zone was noted. On MR angiograms (**а**), a decrease in the intensity of the MR signal from the blood flow and a depletion of blood flow in the left middle cerebral artery are visualized, followed by normalization in a day (**д**).

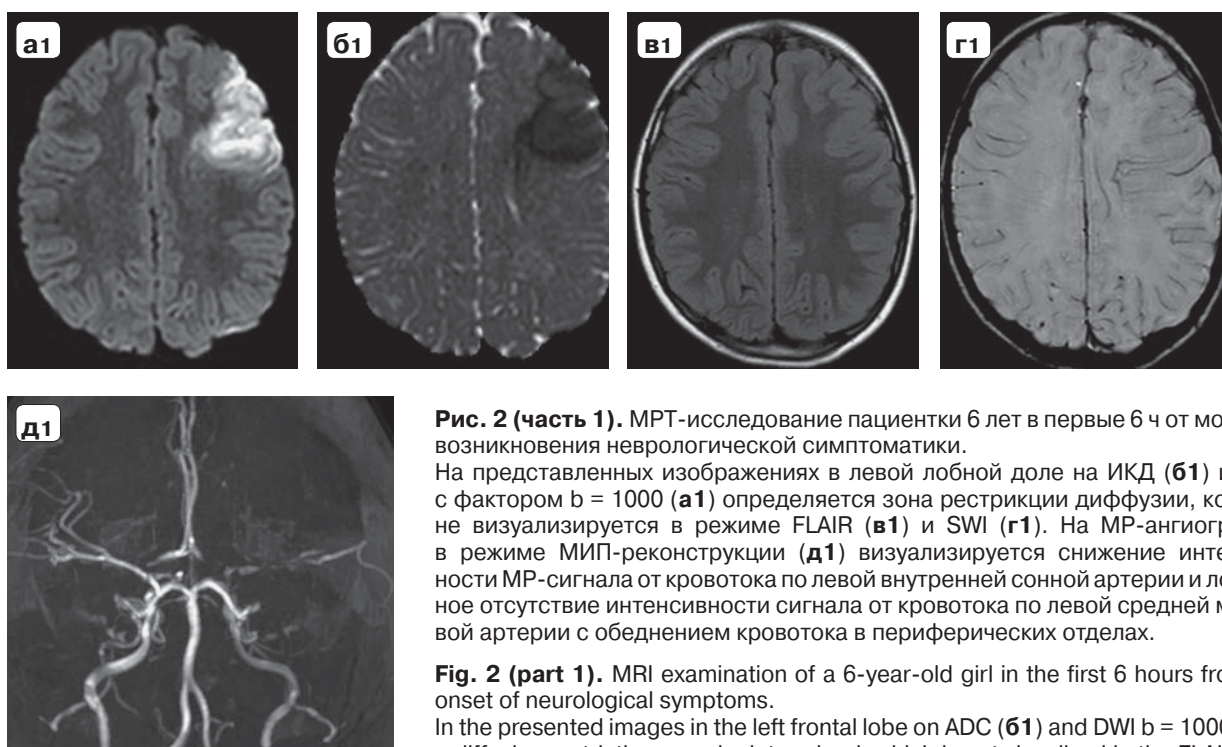
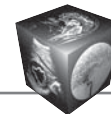


Рис. 2 (часть 1). МРТ-исследование пациентки 6 лет в первые 6 ч от момента возникновения неврологической симптоматики.

На представленных изображениях в левой лобной доле на ИКД (**б1**) и ДВИ с фактором $b = 1000$ (**а1**) определяется зона рестрикции диффузии, которая не визуализируется в режиме FLAIR (**в1**) и SWI (**г1**). На МР-ангиограмме в режиме МИП-реконструкции (**д1**) визуализируется снижение интенсивности МР-сигнала от кровотока по левой внутренней сонной артерии и локальное отсутствие интенсивности сигнала от кровотока по левой средней мозговой артерии с обеднением кровотока в периферических отделах.

Fig. 2 (part 1). MRI examination of a 6-year-old girl in the first 6 hours from the onset of neurological symptoms.

In the presented images in the left frontal lobe on ADC (**б1**) and DWI $b = 1000$ (**а1**), a diffusion restriction zone is determined, which is not visualized in the FLAIR (**в1**)

and SWI (**г1**) modes. On MR angiograms in the MIP reconstruction mode (**д1**), a decrease in the intensity of the MR signal from the blood flow in the left internal carotid artery and a local absence of the signal intensity from the blood flow in the left middle cerebral artery with depletion of blood flow in peripheral parts are visualized.

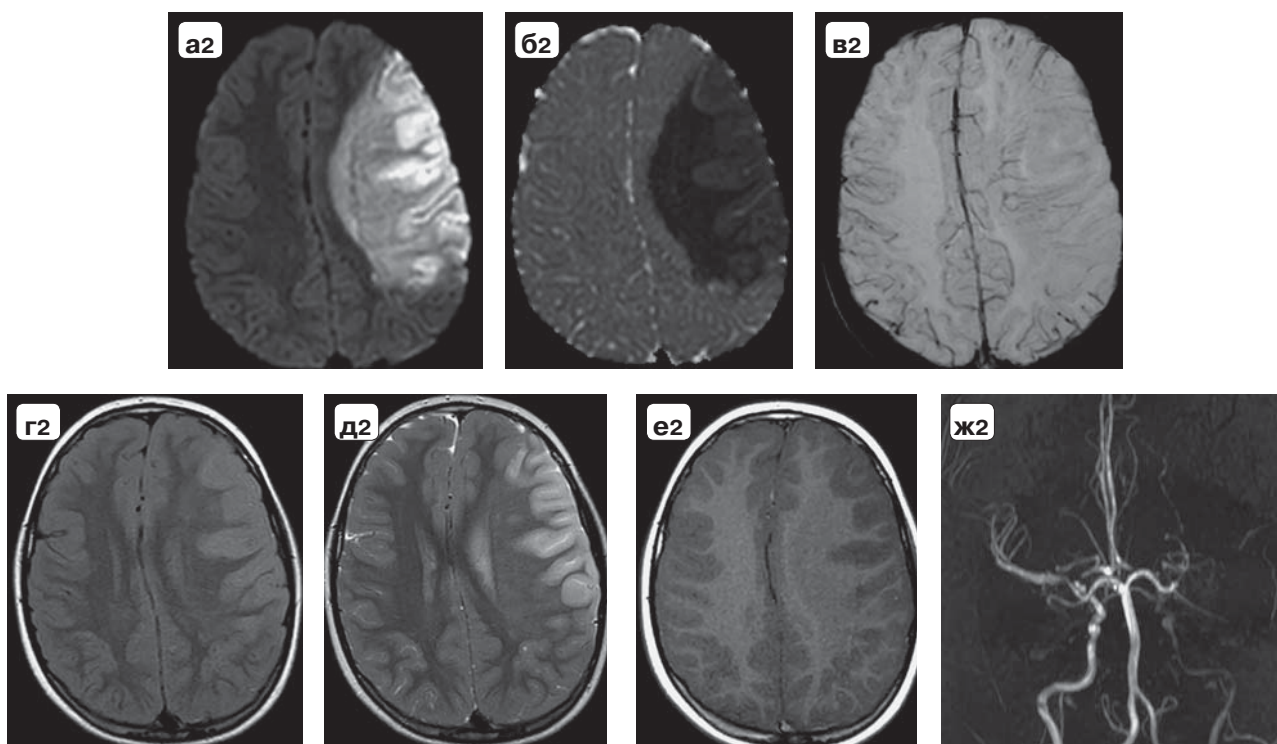


Рис. 2 (часть 2). МРТ-исследование той же пациентки, проведенное через сутки от момента неврологического дебюта.

Fig. 2 (part 2). MRI of the same patient performed a day after the neurological debut.

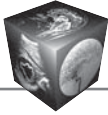


Рис. 2 (часть 2). МРТ-исследование той же пациентки, проведенное через сутки от момента неврологического дебюта. В левой лобной и теменной долях определяется значительное увеличение зоны рестрикции диффузии на ИКД (**б2**) и ДВИ с фактором $b = 1000$ (**а2**), появление зоны повышенного сигнала в режиме FLAIR (**г2**) и T2 (**д2**), неоднородно пониженного сигнала на T1 (**е2**) и гетерогенного сигнала на SWI (**в2**). Отмечено появление масс-эффекта в виде латеральной дислокации вправо и сужения межгиральных пространств на уровне изменений. На МР-ангиограмме в режиме МИП-реконструкции (**ж2**) визуализируется выраженное снижение интенсивности МР-сигнала от кровотока по левой внутренней сонной артерии и отсутствие сигнала от кровотока по левой средней мозговой артерии.

Fig. 2 (part 2). MRI of the same patient performed a day after the neurological debut. In the left frontal and parietal lobes, a significant increase in the diffusion restriction zone on the ADC (**б2**) and DWI $b = 1000$ (**а2**), the appearance of a zone of increased signal in the FLAIR (**г2**) and T2 (**д2**) modes, and a heterogeneously reduced signal on T1 (**е2**) and heterogeneous signal on SWI (**в2**). The appearance of a mass effect in the form of a lateral dislocation to the right and narrowing of the intergyral spaces at the level of changes was noted. On MR angiograms in the MIP reconstruction mode (**ж2**), a pronounced decrease in the intensity of the MR signal from the blood flow through the left internal carotid artery and the absence of a signal from the blood flow through the left middle cerebral artery are visualized.

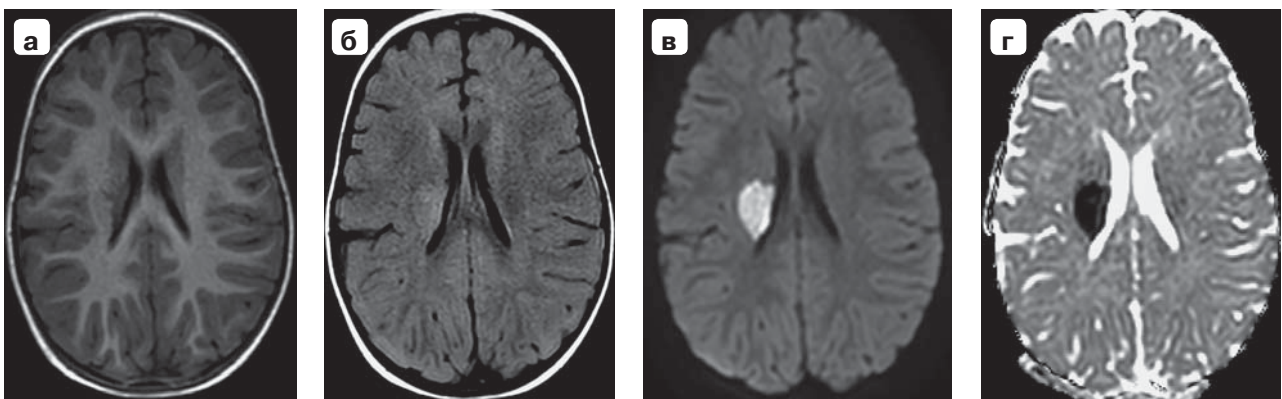


Рис. 3. МРТ-исследование пациентки 2 лет в первые 48 ч от возникновения неврологической симптоматики. На МР-томограммах в аксиальной проекции в режимах T1 (**а**), FLAIR (**б**), ДВИ с фактором $b = 1000$ (**в**) и ИКД (**г**) в области базальных ядер справа визуализируется зона неоднородно пониженного МР-сигнала на T1 и повышенного на FLAIR, с рестрикцией диффузии, неправильной формы, с нечеткими контурами и без масс-эффекта.

Fig. 3. MRI examination of a 2-year-old girl in the first 48 hours from the onset of neurological symptoms. On MR-tomograms in the axial projection in T1 (**а**), FLAIR (**б**), DWI $b = 1000$ (**в**) and ADC (**г**) modes, in the region of the basal ganglia, a zone of inhomogeneously reduced MR signal in T1 and increased by FLAIR, with diffusion restriction, irregular shape, fuzzy contours and no mass effect.

неоднородный. Повышенный сигнал от зоны ишемического поражения у данной группы пациентов наблюдался в режиме FLAIR в 87,5% ($n = 21$) случаев, при этом неоднородно повышенный сигнал отмечен в 12,5% ($n = 3$) случаев (рис. 4).

При анализе изображений в режиме SWI/T2* из 17 пациентов зона ИИ наиболее часто характеризовалась неоднородно повышенным ($n = 8$, 47,1%) и однородно повышенным ($n = 6$, 35,3%) сигналом, реже слабopониженным сигналом ($n = 2$, 11,7%) и в одном (5,9%) случае очаговое изменение не выявлено.

Контрастный препарат в группе обследованных детей ($n = 34$) был применен в 11 (32%) случаях, из них в 2 случаях у детей с исследованием в первые 6 ч, в 9 случаях – в период 6–48 ч. Очагов патологического накопления контрастного препарата в веществе головного мозга у детей, обследованных в первые 6 ч, не наблюда-

лось. У пациентов, обследованных в период 6–48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики, накопление в зоне ИИ отмечалось у 4 пациентов и у 3 имело вид перифокального контрастирования по гиральному типу, а в одном случае отмечалось очаговое накопление препарата. В 2 наблюдениях на постконтрастных изображениях отмечалось наличие контрастного артериального усиления на уровне зоны ИИ в сравнении с аналогичным уровнем противоположного полушария.

В результате анализа полученных МР-изображений в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики, кроме прямых признаков ИИ в виде очагов патологического МР-сигнала, были выявлены косвенные признаки, такие как отсутствие “феномена пустоты потока”, наличие масс-эффекта и перифокальных изменений.

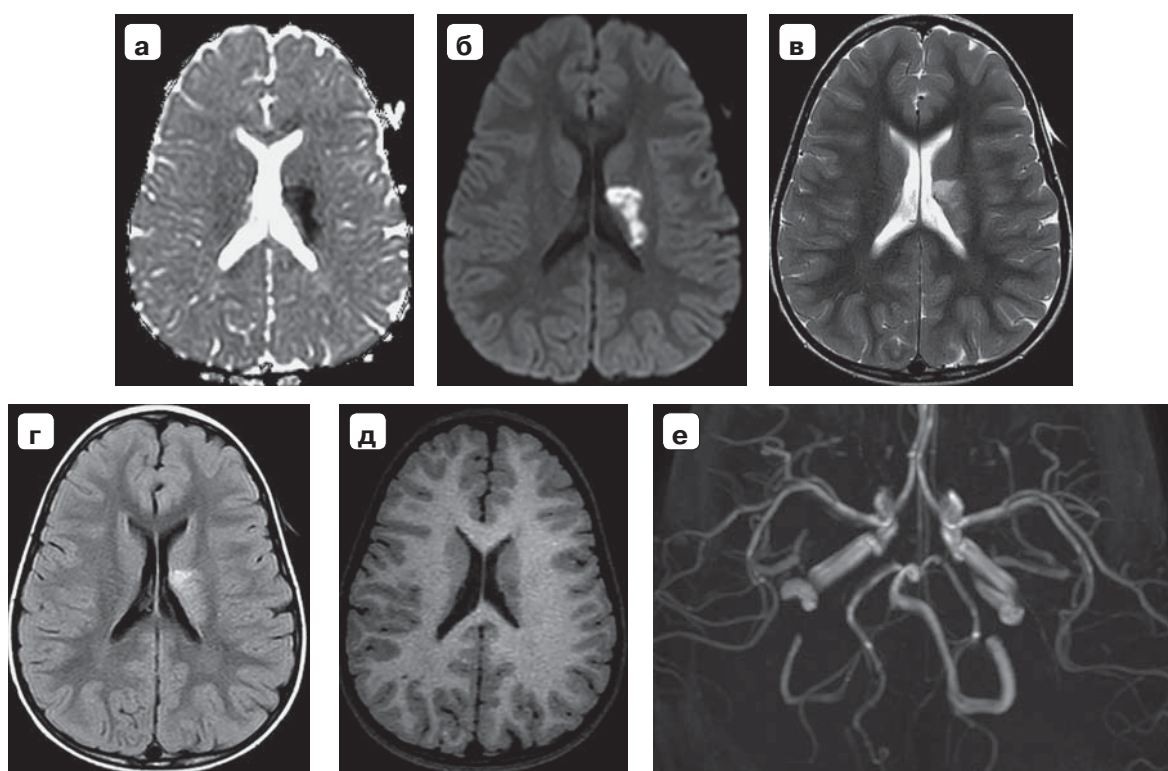
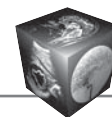


Рис. 4. Обследование пациентки 4 лет в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики. Представлены МР-томограммы в аксиальной проекции в режимах ИКД (а) и ДВИ с фактором $b = 1000$ (б), T2 (в), FLAIR (г) и T1 (д). В области базальных ядер слева визуализируется зона неоднородно повышенного МР-сигнала на T2 и FLAIR, пониженного на T1, с рестрикцией диффузии, неправильной формы, с нечеткими контурами и без масс-эффекта. На МР-ангиограмме в МИП-реконструкции (е) отмечено снижение интенсивности МР-сигнала от кровотока по интракраниальному сегменту правой позвоночной артерии.

Fig. 4. Examination of a 4-year-old girl in the first 48 hours from the onset of neurological symptoms. Shown are MR-tomograms in axial projection in ADC (a) and DWI $b = 1000$ (б), T2 (в), FLAIR (г) and T1 (д). In the region of the basal ganglia, on the left, a zone of inhomogeneously increased MR signal in T2 and flair, reduced in T1, with restriction of diffusion, irregular shape, with fuzzy contours and no mass effect, is visualized. MR angiograms in the MIP reconstruction (e) showed a decrease in the intensity of the MR signal from the blood flow in the intracranial segment of the right vertebral artery.

Отсутствие “феномена пустоты потока” отмечалось в 23% ($n = 8$) случаев, из них в 38% ($n = 3$) случаев наблюдалось у обследованных пациентов в первые 6 ч (см. рис. 1) и в 62% ($n = 5$) случаев в период 6–48 ч. Данный признак характеризовался повышением интенсивности МР-сигнала от просвета сосуда, кровоснабжающего бассейн с ИИ, что соответствовало замедлению кровотока, и во всех случаях определялся на FLAIR, в 5 случаях отмечена визуализация признака на T2ВИ, в 3 случаях в сочетании с T1ВИ и SWI/T2*.

Наличие масс-эффекта было отмечено на всех временных этапах проведенного исследования и определялось в 44% ($n = 15$) наблюдений. Однако наиболее часто, а именно в 93% ($n = 14$) наблюдений, масс-эффект отмечен у пациентов, обследованных в период 6–48 ч от момента неврологического дебюта (см. рис. 2). Масс-эффект проявлялся в виде сужения межгиральных пространств

и нерезко выраженной деформации контура бокового желудочка. Важно отметить, что масс-эффект отмечался при наличии очаговых изменений с поперечными размерами от 12 до 68 мм.

Из 24 пациентов, обследованных в период 6–48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики, у 10 (48%) было отмечено наличие нерезко выраженного цитотоксического отека, расположенного по периферии ИИ. Данное явление представляло собой разницу в яркости центральной и периферической частей зоны ИИ с менее выраженной рестрикцией диффузии от периферической части и определялось на ДВИ с фактором $b = 1000$ в сочетании с ИКД ($n = 10$, 100%) и обусловлено перифокальными изменениями. При этом у 7 пациентов отмечено сочетание в визуализации перифокальных изменений на T2ВИ и ДВИ. У 14 (58,3%) пациентов перифокальных изменений выявлено не было.



Обсуждение

Применение МРТ у детей с клиническими проявлениями ИИ является важным и необходимым исследованием, позволяющим определить формирование ишемии, а также оценить сроки возникновения патологического процесса на основании сопоставления и анализа импульсных МР-последовательностей, что способствует своевременному выявлению очаговых изменений в структуре головного мозга на ранних сроках. В работе L.M. Allen и соавт. [16] продемонстрирована МР-семиотика очага ИИ в зависимости от времени с момента возникновения неврологической симптоматики у взрослой популяции. В отличие от нашего исследования, L.M. Allen и соавт. использовали иную временную классификацию эволюции ИИ. Кроме того, авторы отмечали отсутствие очаговых изменений у взрослых на T1ВИ в первые 16 ч и на T2ВИ в первые 8 ч от момента неврологического дебюта, в то время как в нашем исследовании визуализация очаговых изменений на T1- и T2ВИ была возможна уже в первые 6 ч. Разница в МР-визуализации может быть обусловлена физиологическими отличиями детской и взрослой популяций, а также в отсутствии четкого понимания момента возникновения неврологической симптоматики у детей, так как у пациентов раннего детского возраста это напрямую сопряжено с бдительностью родителей. Характеристики МР-сигнала от зоны ИИ в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики в нашей работе соответствовали характеристикам, описанным в публикации E. Adam и соавт. [14]. Нами установлено, что в период первых 6 ч от начала неврологической симптоматики очаг ИИ характеризовался рестрикцией диффузии, отсутствием или слабым повышением МР-сигнала на T2ВИ и FLAIR.

При поступлении ребенка в стационар с клинической картиной ОНМК в первую очередь необходимо определить истинные причины неврологической симптоматики, так как в 20–50% случаев выявляются иные патологические процессы, имеющие инсультподобное течение [17]. Существуют работы, в которых авторами предложен алгоритм проведения нейровизуализации у ребенка с подозрением на ОНМК, куда входят следующие ИП: ДВИ в сочетании с ИКД, FLAIR, SWI/T2* и МР-ангиография в режиме TOF (time of flight) для ургентного состояния, а при стабильном состоянии протоколы удлинялись за счет добавления T2, T1 и в некоторых случаях МР-венографии [18–20]. В нашем исследовании и работе R.M. Polan и соавт. [8] установлено, что в протокол МРТ-сканирования должны входить следующие ИП:

T2ВИ, FLAIR, T1ВИ и ДВИ с фактором $b = 1000$ в сочетании ИКД-картой, что позволяет диагностировать ишемическое поражение головного мозга начиная с острейшей стадии ИИ.

Кроме прямых МР-признаков ИИ в виде выявления очагового поражения головного мозга, в нашем исследовании и в работе R.G. Gonzalez и соавт. [21] отмечены косвенные признаки, выявляемые на T2ВИ и FLAIR, к которым относят повышение МР-сигнала от просвета сосуда с ипсилатеральной стороны ишемического поражения. Появление данного признака на этих ИП может быть отмечено в первые часы с момента возникновения неврологической симптоматики.

Исследование особенностей МР-семиотики ИИ у детей на разных временных этапах формирования патологического процесса позволяет установить временной промежуток от момента возникновения неврологической симптоматики, что помогает в выборе правильной тактики лечения.

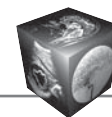
Заключение

Метод МРТ позволяет выявить ишемическое поражение головного мозга у 100% пациентов детского возраста на ранних сроках развития патологического процесса, а также оценить временные показатели возникновения очаговых изменений на основании сопоставления и анализа ИП, которые дают возможность охарактеризовать остроту процесса.

Анализ полученных МР-изображений продемонстрировал сигнальные характеристики вещества головного мозга при ИИ у детей. Наличие рестрикции диффузии, характеризующей нарушение биоэнергетических процессов, а также однородность характеристик МР-сигнала на ДВИ с фактором $b = 1000$ и ИКД-карте наблюдались во всех случаях на протяжении первых 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики. Наличие участка с рестрикцией диффузии при отсутствии патологического сигнала на T2ВИ и FLAIR дает возможность установить острейшую стадию ИИ у детей.

МР-семиотика зоны ишемического поражения в первые 48 ч развития патологического процесса на T2ВИ и FLAIR создает предпосылки исключения ИП T2 при наличии рестрикции диффузии, что позволяет сократить время сканирования пациента.

На МР-изображениях признак отсутствия феномена “пустоты потока” в просвете сосуда со стороны ИИ в нашем исследовании наблюдался на всех этапах патологического процесса у 23% пациентов. Данный признак не позволяет оценить остроту процесса.



Наличие нерезко выраженного перифокального цитотоксического отека наблюдалось у 48% (n = 10) детей, обследованных в период 6–48 ч от момента неврологического дебюта ИИ, что может являться косвенным признаком острой стадии ишемии.

Применение внутривенного контрастирования использовалось только в сложных дифференциально-диагностических случаях и не позволяло оценить остроту ИИ.

Участие авторов

Мазаев А.П. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Молодцов М.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Mazaev A.P. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Molodtsov M.S. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

- Зыков В.П., Комарова И.Б., Ушакова Л.В. Диагностика и лечение артериального ишемического инсульта у детей в остром периоде. *Вопросы современной педиатрии*. 2011; 10 (4): 70–77.
- Колтунов И.Е., Мелик-Гусейнов Д.В., Шедеркина И.О., Витьковская И.П., Петрайкина Е.Е. Ишемический инсульт у детей и подростков в общепедиатрической практике. Факторы риска, ранняя диагностика и первичная профилактика. Методические рекомендации №127, Москва, 2019. ISBN 978-5-4465-2327-6
- Шедеркина И.О., Заваденко Н.Н., Колтунов И.Е. Инсульт у детей и подростков: формирование педиатрического регистра. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2016; 116 (9): 24–29. <https://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29>
- Gelfand A.A., Croen L.A., Torres A.R., Wu Y.W. Genetic risk factors for perinatal arterial ischemic stroke. *Pediatr. Neurol.* 2013; 48 (1): 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2012.09.016>
- Зыков В.П., Васильев С.А., Комарова И.Б., Чучин М.Ю., Ушакова Л.В., Швабрина Т.В., Степанищев И.Л., Черкасов В.Г. Ишемический инсульт в детском возрасте. *Лечебное дело*. 2009; 2: 12–20.
- Губский Л.В., Скворцова В.И., Шамалов Н.А. КТ и МРТ диагностика ишемического инсульта. Ишемический инсульт / Под ред. В.И. Скворцовой, М.А. Евзельмана. Опер, 2006: 93–104.
- Гусев Е.И., Скворцова В.И., Мартынов М.Ю., Камчатнов П.Р. Церебральный инсульт: проблемы и решения. *Вестник РГМУ*. 2006; 51 (4): 28–32.
- Polan R.M., Poretti A., Huisman T.A., Bosemani T. Susceptibility-weighted imaging in pediatric arterial ischemic stroke: a valuable alternative for the noninvasive evaluation of altered cerebral hemodynamics. *Am. J. Neuroradiol.* 2015; 36 (4): 783–788. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4187>
- Roldan-Valadez E., Lopez-Mejia M. Current concepts on magnetic resonance imaging (MRI) perfusion-diffusion assessment in acute ischaemic stroke: a review & an update for the clinicians. *Indian J. Med. Res.* 2014; 140 (6): 717–728.
- Gadian D.G., Calamante F., Kirkham F.J. et al. Diffusion and perfusion magnetic resonance imaging in childhood stroke. *J. Child. Neurol.* 2000; 15: 279–283. <https://doi.org/10.1177/088307380001500502>
- Gerstl L., Weinberger R., Heinen F. et al. Arterial ischemic stroke in infants, children, and adolescents: results of a Germany-wide surveillance study 2015–2017. *J. Neurol.* 2019; 266 (12): 2929–2941. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09508-5>
- Mackay M.T., Chua Z.K., Lee M. et al. Stroke and nonstroke brain attacks in children. *Neurology*. 2014; 82 (16): 1434–1440. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000343>
- Rambaud T., Legris N., Bejot Y. et al. Acute ischemic stroke in adolescents. *Neurology*. 2020; 94 (2): e158–e169. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000008783>
- Goldman-Yassen A.E., Dehkharghani S. Neuroimaging in Pediatric Stroke and Cerebrovascular Disease. Stroke / Ed. S. Dehkharghani. Exon Publications, Brisbane, Australia. ISBN: 978-0-6450017-6-1. <https://doi.org/10.36255/exonpublications.stroke.2021>
- Donahue M.J., Dlamini N., Bhatia A., Jordan LC. Neuroimaging Advances in Pediatric Stroke. *Stroke*. 2019; 50 (2): 240–248. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.020478>
- Allen L.M., Hasso A.N., Handwerker J., Farid H. Sequence-specific MR imaging findings that are useful in dating ischemic stroke. *Radiographics*. 2012; 32 (5): 1285–1297; discussion 1297–1299. <https://doi.org/10.1148/rg.325115760>
- Ladner T.R., Mahdi J., Gindville M.C. et al. Pediatric Acute Stroke Protocol Activation in a Children's Hospital Emergency Department. *Stroke*. 2015; 46 (8): 2328–2331. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009961>
- Mastrangelo M., Giordo L., Ricciardi G. et al. Acute ischemic stroke in childhood: a comprehensive review. *Eur. J. Pediatr.* 2022; 181 (1): 45–58. <https://doi.org/10.1007/s00431-021-04212-x>
- Володин Н.Н., Выхристюк О.Ф., Горбунов А.В., Колтунов И.Е., Петрайкина Е.Е., Селивёрстова Е.В., Шедеркина И.О. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения у детей: Серия "Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики". М., 2019. 42 с. ISSN 2618-7124
- Mirsky D.M., Beslow L.A., Amlie-Lefond C. et al.; International Paediatric Stroke Study Neuroimaging Consortium and the Paediatric Stroke Neuroimaging Consortium. Pathways for Neuroimaging of Childhood Stroke. *Pediatr. Neurol.* 2017; 69: 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2016>
- Gonzalez R.G., Schaefel P. Conventional MRI and MR Angiography of Stroke / Eds Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. Springer: Berlin, 2006: 115–137.



References

1. Zykov V.P., Komarova I.B., Ushakova L.V. Diagnosis and treatment of arterial ischemic stroke in children in the acute period. *Current Pediatrics = Voprosy Sovremennoi Pediatrii*. 2011; 10 (4): 70–77. (In Russian)
2. Koltunov I.E., Melik-Guseinov D.V., Shederkina I.O., Vitkovskaya I.P., Petryaykina E.E. Ischemic stroke in children and adolescents in general pediatric practice. Risk Factors, Early Diagnosis and Primary Prevention. Guidelines No. 127, Moscow, 2019. ISBN 978-5-4465-2327-6
3. Shchederkina I.O., Zavadenko N.N., Koltunov I.E. Stroke in children and adolescents: a formation of a pediatric register. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2016; 116 (9): 24–29. <https://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29> (In Russian)
4. Gelfand A.A., Croen L.A., Torres A.R., Wu Y.W. Genetic risk factors for perinatal arterial ischemic stroke. *Pediatr. Neurol.* 2013; 48 (1): 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2012.09.016>
5. Zykov V.P., Vasiliev S.A., Komarova I.B. et al. Ischemic stroke in childhood. *Lechebnoye delo*. 2009; 2: 12–20. (In Russian)
6. Gubsky L.V., Skvortsova V.I., Shamalov N.A. CT and MRI diagnostics of ischemic stroke. Ischemic stroke / Eds V.I. Skvortsova, M.A. Evzelman. Orel, 2006: 93–104. (In Russian)
7. Gusev E.I., Skvortsova V.I., Martynov M.Yu., Kamchatnov P.R. Cerebral Stroke: Problems and Solutions. *Bulletin of Russian State Medical University*. 2006; 51 (4): 28–32. (In Russian)
8. Polan R.M., Poretti A., Huisman T.A., Bosemani T. Susceptibility-weighted imaging in pediatric arterial ischemic stroke: a valuable alternative for the noninvasive evaluation of altered cerebral hemodynamics. *Am. J. Neuroradiol.* 2015; 36 (4): 783–788. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4187>
9. Roldan-Valadez E., Lopez-Mejia M. Current concepts on magnetic resonance imaging (MRI) perfusion-diffusion assessment in acute ischaemic stroke: a review & an update for the clinicians. *Indian J. Med. Res.* 2014; 140 (6): 717–728.
10. Gadian D.G., Calamante F., Kirkham F.J. et al. Diffusion and perfusion magnetic resonance imaging in childhood stroke. *J. Child. Neurol.* 2000; 15: 279–283. <https://doi.org/10.1177/088307380001500502>
11. Gerstl L., Weinberger R., Heinen F. et al. Arterial ischemic stroke in infants, children, and adolescents: results of a Germany-wide surveillance study 2015–2017. *J. Neurol.* 2019; 266 (12): 2929–2941. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09508-5>
12. Mackay M.T., Chua Z.K., Lee M. et al. Stroke and nonstroke brain attacks in children. *Neurology*. 2014; 82 (16): 1434–1440. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000343>
13. Rambaud T., Legris N., Bejot Y. et al. Acute ischemic stroke in adolescents. *Neurology*. 2020; 94 (2): e158–e169. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000008783>
14. Goldman-Yassen A.E., Dehkharghani S. Neuroimaging in Pediatric Stroke and Cerebrovascular Disease. Stroke / Ed. S. Dehkharghani. Exon Publications, Brisbane, Australia. ISBN: 978-0-6450017-6-1. <https://doi.org/10.36255/exonpublications.stroke.2021>
15. Donahue M.J., Dlamini N., Bhatia A., Jordan LC. Neuroimaging Advances in Pediatric Stroke. *Stroke*. 2019; 50 (2): 240–248. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.020478>
16. Allen L.M., Hasso A.N., Handwerker J., Farid H. Sequence-specific MR imaging findings that are useful in dating ischemic stroke. *Radiographics*. 2012; 32 (5): 1285–1297; discussion 1297–1299. <https://doi.org/10.1148/rq.325115760>
17. Ladner T.R., Mahdi J., Gindville M.C. et al. Pediatric Acute Stroke Protocol Activation in a Children's Hospital Emergency Department. *Stroke*. 2015; 46 (8): 2328–2331. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009961>
18. Mastrangelo M., Giordo L., Ricciardi G. et al. Acute ischemic stroke in childhood: a comprehensive review. *Eur. J. Pediatr.* 2022; 181 (1): 45–58. <https://doi.org/10.1007/s00431-021-04212-x>
19. Volodin N.N., Vykhristyuk O.F., Gorbunov A.V., Koltunov I.E., Petryaykina E.E., Seliverstova E.V., Shchederkina I.O. Computed and magnetic resonance imaging in the diagnosis of acute cerebrovascular accident in children: Series “Best practices of radiation and instrumental diagnostics”. Moscow, 2019. 42 p. ISSN 2618-7124 (In Russian)
20. Mirsky D.M., Beslow L.A., Amlie-Lefond C. et al.; International Paediatric Stroke Study Neuroimaging Consortium and the Paediatric Stroke Neuroimaging Consortium. Pathways for Neuroimaging of Childhood Stroke. *Pediatr. Neurol.* 2017; 69: 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2016>
21. Gonzalez R.G., Schaefer P. Conventional MRI and MR Angiography of Stroke / Eds Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. Springer: Berlin, 2006: 115–137.

Для корреспонденции*: Молодцов Максим Сергеевич – тел. +7-929-590-75-58. E-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Мазаев Александр Павлович – академик РАЕН, доктор мед. наук, врач-рентгенолог службы лучевой диагностики ГБУЗ “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4907-7805>

Молодцов Максим Сергеевич – врач отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии ГБУЗ “ГКБ №67 им Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>

Contact*: Maksim S. Molodtsov – phone: +7-929-590-75-58. E-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Alexander P. Mazaev – Academician of RAEN, Doct. of Sci. (Med.), radiologist of Morozov Children's Clinical Hospital of the Moscow City Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4907-7805>

Maksim S. Molodtsov – radiologist of tomography department, L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital (City Hospital No67), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>