

Детская рентгенология | Pediatric radiology

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1099>

Структурная визуализация гидроцефалии детского возраста

© Соложенцева К.Д. *, Афандиев Р.М., Шевченко К.В., Пронин И.Н.

ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; 125047 Москва, 4-я Тверская-Ямская ул., д. 16, Российская Федерация

Цель исследования: проанализировать особенности классификации и диагностики гидроцефалии у пациентов детского возраста.

Результаты. Гидроцефалия является распространенной патологией ликворной системы, часто встречающейся в детском возрасте. Центральное место в обследовании этой группы пациентов занимают новые технологии нейровизуализации, в частности МРТ-исследование. Пациенты детского возраста имеют особенности классификации гидроцефалии, а также особенности проведения нейровизуализационных исследований. В обзоре представлены протокол исследования и современная классификация гидроцефалии у детей.

Заключение. Обследование пациентов детского возраста по поводу гидроцефалии должно строиться с учетом особенностей этиологии гидроцефалии у детей. При проведении МРТ-исследования в протокол необходимо включать современные МР-последовательности: FIESTA, T2-CUBE, фазово-контрастную МРТ.

Ключевые слова: гидроцефалия, эндоскопическая тривентрикулостомия, вентрикулоперитонеальное шунтирование, магнитно-резонансная томография, фазово-контрастная магнитно-резонансная томография, обзор литературы

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Соложенцева К.Д., Афандиев Р.М., Шевченко К.В., Пронин И.Н. Структурная визуализация гидроцефалии детского возраста. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (3): 123–131.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1099>

Поступила в редакцию: 30.10.2021.

Принята к печати: 01.04.2022.

Опубликована online: 15.06.2022.

Structural vizualisation of the pediatric hydrocephalus

© Kristina D. Solozhentseva*, Ramin M. Afandiev, Kirill V. Shevchenko, Igor N. Pronin

N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 16, 4rd Tverskaya-Yamskaya str., Moscow 125047, Russian Federation

The aim of the study: to analyze the features of the classification and diagnosis of hydrocephalus in pediatric patients.

Results. Hydrocephalus is a common pathology of the CSF system, often occurring in childhood. The central place in the examination of this group of patients is taken by new neuroimaging technologies, in particular, MRI. Pediatric patients have specific features regarding classification of hydrocephalus and MRI studies. This review presents the research protocol and modern classification of hydrocephalus in children.

Conclusion. Examination of pediatric patients for hydrocephalus should be based on the estimated etiology. When conducting an MRI study, the protocol must include modern MRI sequences: FIESTA, T2-CUBE, phase-contrast MRI.

Keywords: hydrocephalus, endoscopic third ventriculostomy, ventriculoperitoneal shunt, magnetic resonance imaging, phase-contrast magnetic resonance imaging, literature review

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Solozhentseva K.D., Afandiev R.M., Shevchenko K.V., Pronin I.N. Structural vizualisation of the pediatric hydrocephalus. *Medical Visualization*. 2022; 26 (3): 123–131.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1099>

Received: 30.10.2021.

Accepted for publication: 01.04.2022.

Published online: 15.06.2022.



Введение

Гидроцефалия – патология ликворной системы головного мозга, относится к группе заболеваний, которая часто встречается в детском возрасте. По данным метаобзора А.М. Isaacs и соавт. (2018), распространенность детской гидроцефалии составляет 71,9/100 000 случаев [1]. В то же время у взрослых частота встречаемости гидроцефалии в несколько раз ниже 10,9/100 000 случаев [1].

Роль нейровизуализации заключается не только в установлении факта наличия гидроцефалии, но также в выявлении возможной причины ее образования и уровня обструкции ликворотока.

Развитие медицинских технологий, в том числе появление новых МР-последовательностей, привело к улучшению диагностики гидроцефалии и расстройств ликвороциркуляции. МР-технологии, чувствительные к току жидкости, и 3D-последовательности с высоким пространственным разрешением сегодня широко применяются для оценки анатомии ликворных пространств, локализации обструкции, а также физиологического и патологического тока ликвора [2–4]. Новые МР-последовательности повысили качество дифференциальной диагностики между истинной гидроцефалией и гидроцефалией *ex vacuo*, позволяют более взвешенно выбрать показания к хирургическому лечению.

В этой статье мы рассмотрим основные методы исследования, используемые при гидроцефалии, ее классификацию и признаки при нейровизуализации, а также протокол, использующийся в нашем Центре.

Классификация гидроцефалии у детей

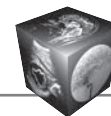
Первая классификация гидроцефалии была предложена W. Dandy еще в 1914 г. [5]. Автор выделил следующие типы гидроцефалии: обструктивную и сообщающуюся. Далее эта классификация была дополнена J. Ransohoff, который разделил сообщающуюся гидроцефалию на истинную сообщающуюся и экстравентрикулярную обструктивную [6].

Н.Л. Rekate и соавт. [7] в своей статье сообщают о том, что необходима более детальная, многоуровневая классификация гидроцефалии. Согласно первому уровню, можно разделить гидроцефалию по месту обструкции: на уровне отверстия Монро, водопровода мозга, базальных цистерн, арахноидальных грануляций и на уровне венозного оттока. Также выделялась сообщающаяся гидроцефалия. Затем эта классификация дополнялась этиологией гидроцефалии (опухоли, спайки в водопроводе мозга и т.д), остротой процесса (острая и хроническая гидроцефалия), возрастом пациента (гидроцефалия детского возраста, гидроцефалия взрослых) (табл. 1).

Таблица 1. Классификация гидроцефалии по месту обструкции

Table 1. Classification of hydrocephalus by the obstruction site

Место обструкции Site of abstruction	Этиология Etiology
Отверстие Монро The foramen of Monro	Опухоль / Tumor Врожденная атрезия / Congenital absence Последствия вентрикулита / Consequences of ventriculites Функциональный блок / Functional block
Водопровод мозга Aqueduct of Sylvius	Опухоль / Tumor Врожденное состояние (спайки водопровода) / Congenital (aqueductal web) Приобретенный стеноз (спайки водопровода мозга, возникшие вследствие кровоизлияния или инфекции) Acquired stenosis (aqueductal web, resulting from hemorrhage or infection)
Отверстия IV желудочка Foramina of the fourth ventricle	Последствия инфекции / Consequences of the infection Опухоль / Tumor Аномалия Киари / Chiari anomaly
Базальные цистерны Basal cisterns	Последствия субарахноидального кровоизлияния Consequences of subarachnoid hemorrhage Последствия люмбоперионеального шунтирования Consequences of lumbo-peritoneal shunt
Арахноидальные грануляции Arachnoid granulations	Постгеморрагическая / Posthemorrhagic Постинфекционная / Postinfections
Венозная гипертензия Venous hypertension	Врожденное состояние / Congenital Тромбоз синусов / Thrombosis of the sinuses



У детей с гидроцефалией важное значение имеет дифференциальная диагностика между гидроцефалией, связанной с врожденными причинами и приобретенной гидроцефалией.

Нейровизуализационные признаки гидроцефалии у детей.

Классическими признаками гидроцефалии у детей являются [5]:

1. Увеличение размеров желудочковой системы.
2. Сужение конвексительных субарахноидальных пространств.
3. Макроцефалия.

Принято считать, что у детей встречаются два состояния, характеризующиеся расширением желудочковой системы, – это истинная гидроцефалия, активная либо компенсированная – состояние, требующее лечения, при котором возможна декомпенсация, и вентрикуломегалия *ex vacuo*, которая не требует проведения ликворошунтирующей операции. В дифференциальной диагностике этих состояний необходимо оценить целый ряд параметров, в частности морфологию височных рогов. При истинной гидроцефалии последние расширены, имеют круглую форму, хороидальные щели увеличены, гиппокампы компремированы и смещены медиально. При гидроцефалии *ex vacuo* височные рога представляются расширенными менее чем тела боковых желудочков, крыша и нижняя стенка височных рогов располагаются практически параллельно, гиппокампы при этом не смещены. Также необходимо оценить состояние субарахноидальных пространств – при вентрикуломегалии они расширены и сужены при гидроцефалии [8]. Однако не следует забывать, что это правило не работает при гидроцефалии, обусловленной затруднением оттока венозной крови [9].

Измерения, используемые для оценки размеров желудочковой системы у детей

В настоящее время наибольшей популярностью при оценке гидроцефалии у взрослых пользуется индекс Эванса, который представляет собой отношение максимального расстояния между латеральными стенками передних рогов боковых желудочков к максимальному расстоянию между внутренними кортикальными пластинками костей свода черепа на данном срезе. Нормальные значения индекса Эванса составляют меньше 0,3.

У детей для измерения желудочковой системы вместо индекса Эванса используется показатель FOHR – fronto-occipital horn ratio (рис. 1). Формула для расчета этого индекса $(A+B)/(2 \cdot B)$. Нормальные значения составляют $0,37 \pm 0,026$ [10]. Это связано с тем, что при гидроцефалии у детей

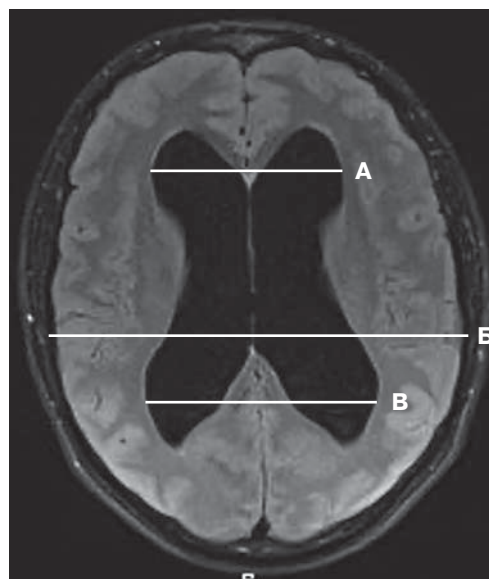


Рис. 1. Индекс FOHR. Формула для расчета $(A+B)/(2 \cdot B)$.

Fig. 1. FOHR index. Formula for calculation $(A+B)/(2 \cdot B)$.

могут увеличиваться размеры задних отделов желудочковой системы, а не передних, как у взрослых. Индекс FOHR более достоверно отражает динамику изменений объема желудочков.

Роль компьютерной томографии в диагностике гидроцефалии

Острая гидроцефалия является угрожающим жизни состоянием и характеризуется наличием выраженного перивентрикулярного отека, дислокацией мозга с его возможным вклиниванием, которое может привести к остановке сердечной деятельности.

При развитии острой гипертензионной симптоматики методом выбора считается компьютерная томография (КТ) в связи с ее высокой доступностью и быстротой проведения исследования. КТ обладает практически стопроцентной информативностью в установлении факта наличия гидроцефалии, однако в определении ее этиологии более информативным методом диагностики следует считать магнитно-резонансную томографию (МРТ). Например, частой причиной развития гидроцефалии у детей является стеноз водопровода мозга, вызванный развитием спаек. КТ позволяет установить это состояние только по косвенным признакам: наличию тривентрикулярной гидроцефалии, однако A.J. Barkovich и соавт. [11] в своей статье показали, что у некоторых пациентов с обобщающейся гидроцефалией возможны нормальные размеры IV желудочка. Если стеноз водопровода вызван опухолью тектальной области, то



возможна визуализация утолщенной четверохолмной пластинки или, например, образования пинеальной области. Однако информативность КТ также невелика в этих случаях. L. Vogna и соавт. [12] показали, что у 4 пациентов из 12 визуализация тектальной глоты на компьютерных томограммах была невозможна. У всех пациентов были визуализированы глиомы на МР-томограммах. Также не следует забывать, что проведение КТ сопряжено с лучевой нагрузкой, снижение которой играет важную роль у пациентов детского возраста.

Роль ультразвукового исследования в оценке гидроцефалии у детей

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является информативным и часто используемым методом в исследовании желудочковой системы в первые 12–18 мес жизни, пока передний родничок остается открытым. Размеры и форма боковых желудочков могут быть хорошо визуализированы с помощью УЗИ, тогда как оценка III, IV желудочков, водопровода мозга, содержимого задней черепной ямки затруднена. Из этого факта следует, что точно установить место обструкции ликвора с помощью только УЗИ невозможно [3, 4].

Чаще всего УЗИ в педиатрической практике применяется для установления факта расширения боковых желудочков и динамического наблюдения после хирургических вмешательств по поводу гидроцефалии в первый год жизни. Однако при планировании хирургического вмешательства должно проводиться МРТ-исследование [13, 14].

Протокол МРТ для оценки гидроцефалии

МРТ обладает наибольшей чувствительностью и специфичностью при установлении причины гидроцефалии. Особенно хорошо при МРТ-исследовании визуализируется место обструкции при обструктивной гидроцефалии, например при стенозе водопровода мозга или при обструкции ликворной систем опухолью. Однако у МРТ-исследования в педиатрической популяции пациентов есть ряд существенных ограничений, таких как длительность МРТ-исследования и необходимость общего наркоза.

Ниже мы приводим протокол МРТ-сканирования пациентов детского возраста с гидроцефалией. Протокол представлен в табл. 2, параметры сканирования – в табл. 3 [13].

Таблица 2. Протокол МРТ-сканирования

Table 2. MRI protocol

Последовательность Sequence	Для чего необходима Why is it necessary
Аксиальные T2 TSE Axial T2 TSE	Для оценки перивентрикулярных изменений, общего состояния суб- и супратенториальных структур. При возможности проведения T2-CUBE не является обязательной последовательностью To evaluate periventricular changes, the state of sub and supratentorial structures. If it possible to perform T2-CUBE, this sequence is not mandatory
Коронарные T2 TSE Coronal T2 TSE	Отражает состояние гиппокампов и их смещение, состояние прозрачной перегородки. При возможности проведения T2-CUBE не является обязательной последовательностью Hippocampal changes and shifting of the septum pellucidum and hippocampi. If it possible to perform T2-CUBE, this sequence is not mandatory
3D-T1 (SPGR, FSPGR) 3D-T1 (SPGR, FSPGR)	Отражает степень увеличения желудочковой системы и общую морфологию белого и серого вещества To evaluate enlargement of the ventricular system and the structure of the white and gray matter
Аксиальные T2-FLAIR Axial T2-FLAIR	Позволяет выявить изменения в перивентрикулярном белом веществе To evaluate changes in the periventricular white matter
FIESTA-C в сагиттальной проекции (GE)/3D-CISS (Siemens)/3D-DRIVE (Philips) Sagittal FIESTA-C (GE)/3D-CISS (Siemens)/3D-DRIVE (Philips)	Необходим для структурной оценки анатомических образований, наличия спаек, а также планирования тривентрикулостомии. Относится к программам с высоким пространственным разрешением To evaluate structural changes of the anatomy, aqueductal webs and planning of the triventriculostomy. This is a high-resolution sequence

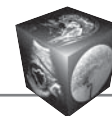


Таблица 2 (окончание)

Table 2 (end)

Последовательность Sequence	Для чего необходима Why is it necessary
3D T2-CUBE (GE)/3D SPACE (Siemens)/3D VISTA (Philips)	Используется для выявления артефакта от тока ликвора в водопроводе To evaluate flow through aqueductal stenosis
Фазово-контрастная MPT Phase-contrast MRI	Используется для количественной оценки тока ликвора в зоне интереса To evaluate CSF flow quantitatively
T1 с контрастным усилением Contrast-enhanced T1	Проводится при подозрении на инфекционную причину гидроцефалии, обструкцию ликворной системы опухолью To evaluate post-infection hydrocephaly or tumor hydrocephaly

Таблица 3. Параметры сканирования

Table 3. Scanning parameters

Параметры Parameters	FIESTA-C	3D T2-CUBE	ФК-MPT на уровне водопровода мозга Phase-contrast MRI on the level of the aqueduct	ФК-MPT в области тривентрикулярной стомы Phase-contrast MRI on the level of the stoma
TR/TE, ms	7,6/3,7	3000/72,8	40/7,1	40/9,5
Толщина среза, мм Slice thickness, mm	0,8	1,6	4	4
FOV, mm	240 × 240	240 × 240	210 × 210	180 × 180
Время сканирования, мин Time of scanning, min	6,5	5	4,5	4,5
Кодирующая скорость (Venc), см/с Coding speed (Venc), sm/s	–	–	10	3
NEX (число повторов) NEX (number of the repetitions)	1	1	2	2
Количество срезов Number of slices	124	256	80	80
Угол наклона Slope angle	45	90	20	20
Плоскость сканирования Scanning plane	Сагиттальная Sagittal	Сагиттальная Sagittal	Аксиальная/ сагиттальная Axial/sagittal	Аксиальная/ сагиттальная Axial/sagittal

Роль тонкосрезовых режимов в оценке гидроцефалии

Далее мы бы хотели более подробно осветить роль FIESTA и T2-CUBE в оценке гидроцефалии.

FIESTA-C

Этот режим относится к режимам GRE с подавлением артефактов от тока ликвора и представляет собой сильно взвешенное по T2 изображение. Из особенностей FIESTA-C можно выделить высокое пространственное разрешение, высокое отно-

шение сигнал–шум, выраженную контрастность ликвора и ткани мозга.

FIESTA-C используется для оценки тонких анатомических изменений в желудочковой и цистернальной системах. У пациентов детского возраста этот режим очень важен при наличии постгеморрагической и постинфекционной гидроцефалии для установления точного места окклюзии ликворной системы. С помощью FIESTA-C можно оценить наличие спаек и стенозов в области водопровода мозга (рис. 2а) и на уровне цистерн основания



задней черепной ямки, а также сообщение кист при мультилокулированной гидроцефалии (рис. 3) [15].

FIESTA-C очень важна для планирования эндоскопической тривентрикулостомии, так как с помощью нее можно подробно изучить анатомию дна III желудочка, наличие дополнительных мембран, их расположение и строение (например, мембраны Лилиеквиста), что может помочь хирургу в планировании хода операции [16].

3D T2-CUBE

Этот режим представляет собой T2-изображения толщиной 1 мм со способностью к построению реформатов в различных плоскостях. 3D T2-CUBE может использоваться для качественной оценки проходимости ликворных путей. Качественная оценка проходимости ликворных путей может производиться путем установления наличия артефакта от пульсации ликвора – участка пониженного MP-сигнала, в месте тока ликвора [17]. Наибольшей чувствительностью и специфичностью этот режим обладает при исследовании наличия тока ликвора на уровне водопровода мозга, а также ликвора через стому после операции тривентрикулостомии (рис. 4а, б).

При оценке тока ликвора на уровне отверстий Монро, цистерн оснований задней черепной ямки 3D T2-CUBE обладает меньшей чувствительностью и специфичностью.

3D T2-CUBE также важен при оценке мультилокулярной гидроцефалии, которая может развиваться у детей после кровоизлияний для оценки сообщения кист (см. рис. 3).

Фазово-контрастная МРТ

Фазово-контрастная МРТ является на настоящий момент единственной технологией, доступной для неинвазивной количественной оценки тока ликвора на разных уровнях ликворной системы [18]. Направление тока ликвора зависит от фазы сердечного цикла, что обуславливает необходимость кардиосинхронизации при проведении фазово-контрастной МРТ. Однако у этой последовательности есть ряд существенных недостатков, одним из которых является техническая сложность проведения исследования. Например, для проведения фазово-контрастной МРТ требуется задать параметр Velocity encoding, который отражает ожидаемую скорость потока ликвора. Также не следует забывать об артефактах – при слишком высокой velocity encoding могут возникать артефак-

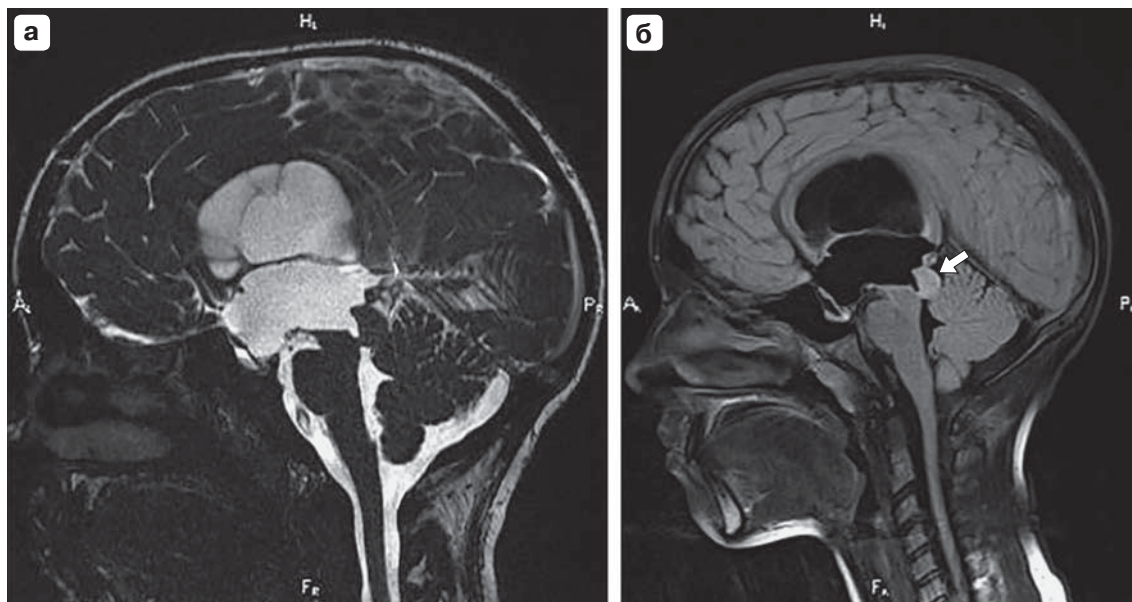


Рис. 2. Пациент 11 лет. МРТ головного мозга в режимах FIESTA в сагиттальной проекции (а), FSPGR в сагиттальной проекции (б). Глиома четверохолмной пластинки с развитием стеноза водопровода мозга и гидроцефалией. Стрелкой указана деформированная и утолщенная четверохолмная пластинка, MP-сигнал от нее изменен.

Fig. 2. Male pediatric patient, 11 years. Brain MRI, sagittal FIESTA (a), sagittal FSPG (b). Tectal glioma with the development of the aqueductal stenosis and hydrocephalus. Arrow is pointing at the deformed and enlarged tectal plate with altered MRI signal.

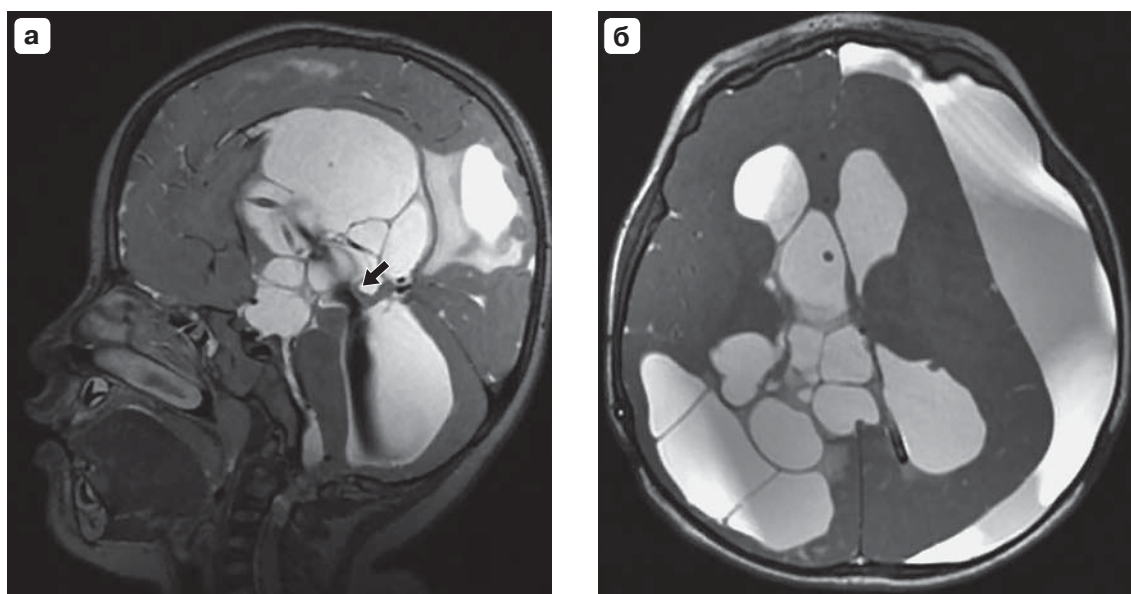
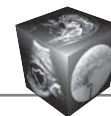


Рис. 3. Пациентка 4 лет. МРТ головного мозга в режимах 3D T2-CUBE в сагиттальной проекции (**а**) и T2 в аксиальной проекции (**б**). Постгеморрагическая гидроцефалия с образованием множественных внутрижелудочковых кист. Стрелкой указан артефакт от пульсации ликвора.

Fig. 3. Female pediatric patient, 4 years old. Brain MRI, sagittal T2-CUBE (**a**), axial T2 (**б**). Postposthemorrhagic hydrocephalus with the development of multiple intraventricular cysts. Arrow points at the CSF pulsation.

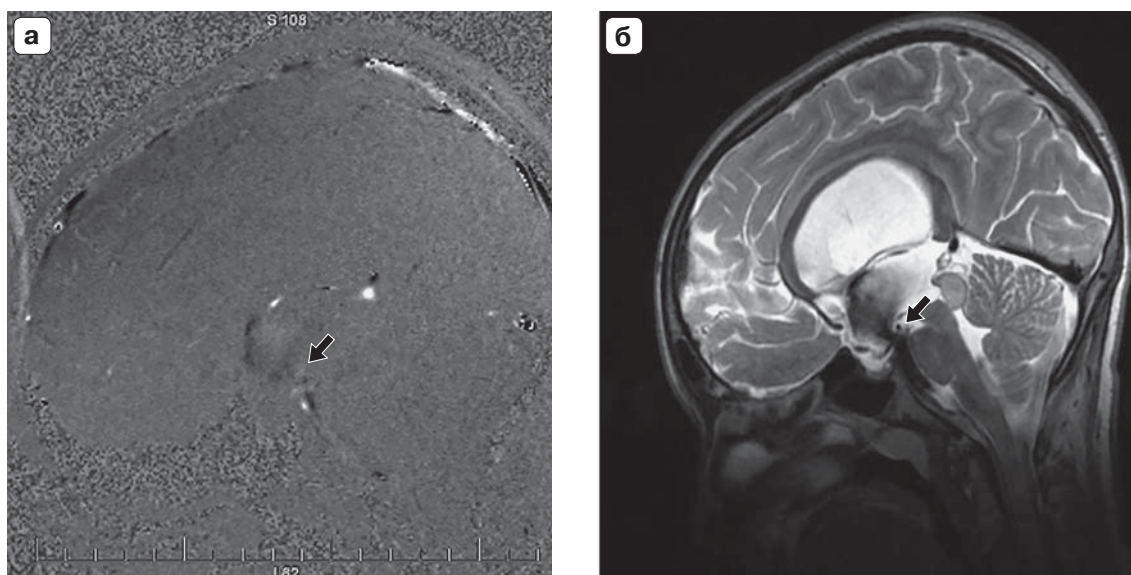


Рис. 4. Пациент 11 лет с глиомой четверохолмной пластинки после эндоскопической тривентрикулостомии. Представлены фазово-контрастная МРТ (**а**) и 3D T2-CUBE (**б**). Стрелками указан ток ликвора через стому.

Fig. 4. Patient 11 years old. Diagnosis – tectal glioma. **a** – phase-contrast MRI, **б** – T2-CUBE. Arrow points at CSF flow through the stoma.



ты типа “alaising”, тогда как при слишком низкой – ток ликвора будет визуализироваться плохо [18].

После обработки результатов фазово-контрастной МРТ мы получаем ряд показателей, среди которых пиковая положительная скорость (peak positive velocity), пиковая отрицательная скорость (peak negative velocity), параметр тока (flow), положительный объем ликвора за кардиоцикл (positive pixel flow), отрицательный объем ликвора за кардиоцикл (negative pixel flow). Значения этих числовых показателей могут варьироваться от томографа к томографу. Лучшим способом для их установления является исследование группы здоровых добровольцев на каждом конкретном томографе. [18].

Также важным показателем является ударный объем (Stoke volume) – среднее значение объемов ликвора, протекающих через сечение водопровода за кардиоцикл [19].

С помощью фазово-контрастной МРТ можно оценить проходимость стомы после тривентрикулостомии [20] (см. рис. 4а). Также часто фазово-контрастная МРТ используется для исследования тока ликвора через водопровод мозга и в области краниовертебрального перехода. У пациентов педиатрического возраста сканирование в этом режиме может быть целесообразным при подозрении на нарушение ликворотока в области водопровода мозга (например, при подозрении на его внутренний стеноз или при сдавлении водопровода извне) и в области краниовертебрального перехода (например, при наличии аномалии Киари I и II, аномалии Денди–Уолкера) [21].

Заключение

Нейровизуализация играет важную роль в исследовании пациентов детского возраста с гидроцефалией. На первом месте, несомненно, стоит МР-исследование головного мозга с применением современных последовательностей. С помощью МР-исследования можно определить этиологию и тяжесть гидроцефалии, выбрать наилучшую тактику лечения и оценить эффективность оперативного вмешательства. Все эти факторы приведут к улучшению прогноза и качества жизни этой группы пациентов.

Вклад авторов

Соложенцева К.Д. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Афандиев Р.М. – подготовка и редактирование текста, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Шевченко К.В. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Пронин И.Н. – ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Solozhentseva K.D. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

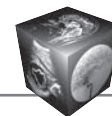
Afandiev R.M. – text preparation and editing, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Shevchenko K.V. – text preparation and editing, participation in scientific design, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Pronin I.N. – responsibility for the integrity of all parts of the article, text preparation and editing, approval of the final version of the article, preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Isaacs A.M., Riva-Cambrin J., Yavin D. et al. Correction: Age-specific global epidemiology of hydrocephalus: Systematic review, metanalysis and global birth surveillance. *PLOS ONE*. 2019; 14: e0210851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204926>
2. Krishnan P., Raybaud C., Palasamudram S., Shroff M. Neuroimaging in Pediatric Hydrocephalus. *Indian J. Pediatr.* 2019; 10: 952–960. <http://doi.org/10.1007/s12098-019-02962-z>
3. Flannery A.M., Mitchell L. Pediatric hydrocephalus: systematic literature review and evidence-based guidelines. Part 1: Introduction and methodology. *J. Neurosurg. Pediatr.* 2014; 14: 3–7. <https://doi.org/10.3171/2014.7.PEDS14321>
4. Raybaud C. MR assessment of pediatric hydrocephalus: a road map. *Childs Nerv. Syst.* 2016; 32 (1):19–41. <https://doi.org/10.1007/s00381-015-2888-y>
5. Dandy W. Internal hydrocephalus, an experimental, pathological and clinical study. *Am. J. Dis. Child.* 1914; 8: 406–482.
6. Ransohoff J., Shulman K., Fishman R.A. Hydrocephalus: A review of etiology and treatment. *J. Pediatr.* 1960; 56: 499–511. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(60\)80193-x](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(60)80193-x)
7. Reke H.L. A consensus on the classification of hydrocephalus: its utility in the assessment of abnormalities of cerebrospinal fluid dynamics. *Childs Nerv. Syst.* 2011; 27 (10): 1535–1541. <http://doi.org/10.1007/s00381-011-1558-y>
8. Baker L.L., Barkovich A.J. The large temporal horn: MR analysis in developmental brain anomalies versus hydrocephalus. *Am. J. Neuroradiol.* 1992; 13 (1): 115–122.
9. Dinçer A., Özek M.M. Radiologic evaluation of pediatric hydrocephalus. *Childs Nerv. Syst.* 2011; 27 (10): 1543–1562. <http://doi.org/10.1007/s00381-011-1559-x>
10. O'Hayon B.B., Drake J.M., Ossip M.G. et al. Frontal and occipital horn ratio: A linear estimate of ventricular



- size for multiple imaging modalities in pediatric hydrocephalus. *Pediatr. Neurosurg.* 1998; 5: 245–249. <http://doi.org/10.1159/000028730>
11. Barkovich A.J., Edwards M.S.B. Applications of neuroimaging in hydrocephalus. *Pediatr. Neurosurg.* 1992; 18: 65–83. <http://doi.org/10.1159/000120645>
 12. Bognar L., Turjman F., Villanyi E. et al. Tectal plate gliomas. Part II: CT scans and MR imaging of tectal gliomas. *Acta Neurochir. (Wien)*. 1994; 127 (1–2): 48–54. <http://doi.org/10.1007/BF01808546>
 13. Drake J.N. Canadian Pediatric Neurosurgery Group. Endoscopic third ventriculostomy in pediatric patients: the Canadian experience. *Neurosurgery*. 2007; 60: 881–886. <http://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255420.78431.E7>
 14. Афандиев Р.М., Захарова Н.Е., Коршунов А.Е., Беляев А.Ю., Пронин И.Н. Тривентрикулоцистерностомия в лечении гидроцефалия (обзор литературы с собственным клиническим наблюдением). *Радиология–практика*. 2020; 80 (2): 37–45.
 15. Afandiev R.M., Zakharova N.E., Korshunov A.E., Belyaev A.Yu., Pronin I.N. Third Ventriculostomy in the Treatment of Hydrocephalus (Case Report and Literature Review). *Radiology–Practice*. 2020; 80 (2): 37–45. (In Russian)
 16. Andresen M., Juhler M. Multiloculated hydrocephalus: a review of current problems in classification and treatment. *Childs Nerv. Syst.* 2012; 28 (3): 357–336. <http://doi.org/10.1007/s00381-012-1702-3>
 17. Fushimi Y., Miki Y., Takahashi J.A. et al. MR imaging of Lilliequist's membrane. *Radiat. Med.* 2006; 2: 85–90. <http://doi.org/10.1007/BF02493273>
 18. Афандиев Р.М., Фадеева Л.М., Соложенцева К.Д., Пронин И.Н. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке гидроцефалии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102 (2): 124–133. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-2-124-133>
 19. Афандиев Р.М., Фадеева Л.М., Соложенцева К.Д., Пронин И.Н. Magnetic Resonance Imaging in the Evaluation of Hydrocephalus. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102 (2): 124–133. (In Russian)
 20. Wymer D.T., Patel K.P., Burke W.F. III, Bhatia V.K. Phase-Contrast MRI: Physics, Techniques, and Clinical Applications. *RadioGraphics*. 2020; 40: 122–140. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190039>
 21. Богомякова О.Б., Станкевич Ю.А., Колпаков К.И., Семенов С.Е., Юркевич Е.А., Чупахин А.П., Тулупов А.А., Бородин О.Ю. Расчетные параметры для оценки взаимодействия жидких сред центральной нервной системы по данным лучевой интроскопии (часть 1). *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2020; 101 (4): 244–252. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-4-244-252>
 22. Bogomyakova O.B., Stankevich Yu.A., Kolpakov K.I., Semenov S.E., Yurkevich E.A., Chupakhin A.P., Tulupov A.A., Borodin O.Yu. Calculated Parameters for Assessing the Interaction of Fluids in the Central Nervous System According to Radiation Introscopy (Part I). *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2020; 101 (4): 244–252. (In Russian)
 23. Kulkarni A.V., Drake J.M., Armstrong D.C., Dirks P.B. Imaging correlates of successful endoscopic third ventriculostomy. *J. Neurosurg.* 2000; 92 (6): 915–919. <https://doi.org/10.3171/jns.2000.92.6.915>
 24. Арутюнов Н.В., Корниенко В.Н., Фадеева Л.М., Мамедов Ф.Р. Современные методы исследования патологии ликворной системы. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2010; 4 (1): 34–40. <https://doi.org/10.17816/psaic350>
 25. Arutyunov N.V., Kornienko V.N., Fadeeva L.N., Mamedov F.R. Modern methods of investigation CSF pathology. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2010; 4 (1): 34–40. <https://doi.org/10.17816/psaic350> (In Russian)

Для корреспонденции*: Соложенцева Кристина Дмитриевна – E-mail: solozhentseva4256043@gmail.com

Соложенцева Кристина Дмитриевна – аспирант первого года отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9984-9327>

Афандиев Рамин Малик-оглы – врач-рентгенолог, аспирант третьего года отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6384-7960>

Шевченко Кирилл Викторович – канд. мед. наук, врач-нейрохирург диагностики ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9984-9327>

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий отделением рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0027>

Contact*: Kristina D. Solozhentseva – E-mail: solozhentseva4256043@gmail.com

Kristina D. Solozhentseva – second year PhD student in the Radiology department of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9984-9327>

Ramin M. Afandiev – radiologist, second year PhD student in the Radiology department of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6384-7960>

Kirill V. Shevchenko – Cand. of Sci. (Med.), neurosurgeon of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6384-7960>

Igor N. Pronin – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Neuroradiology department, Deputy Director of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0027>