

ХИРУРГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИДИОПАТИЧЕСКОЙ ГИДРОЦЕФАЛИИ ВЗРОСЛЫХ

К.В. Шевченко, В.Н. Шиманский, С.В. Тяншин, В.К. Пошатаев, В.В. Карнаухов, М.В. Колычева, К.Д. Соложенцева, Ю.В. Струнина

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; Россия, 125047 Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16

Контакты: Кирилл Викторович Шевченко kshevchenko@nsi.ru

Введение. Гидроцефалия может развиваться в результате черепно-мозговой травмы, внутричерепного кровоизлияния, роста опухоли, перенесенного инфекционного воспаления мозговых оболочек, а также быть проявлением порока развития центральной нервной системы. При гидроцефалии, развившейся без определенной причины, говорят о ее идиопатической форме. Наиболее важными классификационными признаками гидроцефалии являются этиология и уровень обструкции ликворных путей. Классификация гидроцефалии совершенствовалась и развивалась параллельно с диагностическими и лечебными методами. В настоящее время в арсенале нейрохирурга имеются различные методы и методики оперативного лечения, имеющие свои достоинства и недостатки. Систематизация нейро-рентгенологических параметров необходима для принятия решения о характере оперативного вмешательства.

Цель исследования – анализ и систематизация нейровизуализационных характеристик различных форм идиопатической гидроцефалии взрослых и оценка ее возможной классификации.

Материалы и методы. В период с октября 2011 г. по март 2021 г. в ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России прошли лечение 290 пациентов, состояние которых соответствовало критериям идиопатической гидроцефалии взрослых: появление симптомов во взрослом возрасте, отсутствие указаний на этиологию гидроцефалии и врожденную гидроцефалию. Возраст пациентов составил $50 \pm 18,2$ (18–85) года. Данные магнитно-резонансной томографии пациентов были оценены на предмет размеров желудочков мозга, состояния конвексимальных и базальных субарахноидальных пространств, проходимости ликворных путей, изменения положения преамиллярной мембраны, межжелудочковой перегородки, крыши III желудочка и миндалин мозжечка, размеров турецкого седла, угла мозолистого тела. Частота каждого из этих параметров статистически оценена для каждой формы идиопатической гидроцефалии.

Результаты. Самой частой формой идиопатической гидроцефалии стала обструкция водопровода мозга. Гидроцефалии при обструкции отверстия Монро, водопровода мозга, отверстия Мажанди и цистерн основания задней ямки оказались достоверно более характерными для молодых ($p < 0,05$). Гидроцефалию при обструкции конвексимальных ликворных пространств достоверно можно назвать гидроцефалией пожилых ($p < 0,001$). Гидроцефалия без верифицированных признаков окклюзии встречалась одинаково часто во всех возрастных группах. Достоверно большее значение имел индекс FOHR и только при цистернальной обструкции. Расширение только одного или обоих боковых желудочков и уплощение крыши III желудочка характерны для обструкции отверстия Монро ($p < 0,001$). Наличие мембраны на выходе из IV желудочка и отсутствие артефакта от пульсации ликвора были характерны исключительно для пациентов с обструкцией на уровне отверстия Мажанди ($p < 0,001$). Вентральная дислокация преамиллярной мембраны была характерна для обструкции водопровода мозга, отверстия Мажанди и цистерн основания задней ямки. Компрессия конвексимальных ликворных пространств встречалась при обструкции водопровода мозга, отверстия Мажанди, а в задней черепной ямке – только при обструкции отверстия Мажанди. Расширение IV желудочка было достоверно связано с обструкцией отверстия Мажанди и цистерн основания задней ямки ($p < 0,05$). Диспропорциональное расширение ликворных пространств (DESH) достоверно связано с обструкцией конвексимальных ликворных пространств ($p < 0,001$). Дополнительные мембраны в цистернах задней ямки были обнаружены исключительно в случаях цистернальной обструкции ($p < 0,001$). Опускание миндалин мозжечка наблюдалось при обструкции отверстия Монро, водопровода мозга и отверстия Мажанди.

Выводы. В результате статистического анализа определены как общие признаки, встречающиеся при всех формах гидроцефалии, так и частные, характеризующие только конкретные формы заболевания. Представленная классификация логична и обоснована, хорошо применима в нейрохирургической и рентгенологической практике, позволяет рационально планировать диагностические действия и лечение пациентов. Современный протокол магнитно-резонансной томографии должен включать как минимум изображения в режимах T2 и FIESTA/CISS в необходимых плоскостях, изображения в режиме FLAIR в аксиальной плоскости.

Ключевые слова: гидроцефалия, идиопатическая гидроцефалия взрослых, классификация гидроцефалии, окклюзионная гидроцефалия, обструктивная гидроцефалия, отверстие Монро, водопровод мозга, отверстие Мажанди, нормотензивная гидроцефалия, арахноидальная цистерна, эндоскопическая тривентрикулостомия, вентрикулоперитонеальное шунтирование

Для цитирования: Шевченко К.В., Шиманский В.Н., Танышин С.В. и др. Хирургические аспекты классификации и нейровизуализационных характеристик идиопатической гидроцефалии взрослых. Нейрохирургия 2023;25(3):43–58. DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-3-43-58

Surgical aspects of classification and neuroimaging characteristics of idiopathic hydrocephalus in adults

K. V. Shevchenko, V. N. Shimansky, S. V. Tanyashin, V. K. Poshataev, V. V. Karnaukhov, M. V. Kolycheva, K. D. Solozhentseva, Yu. V. Strunina

N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of Russia; 16 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow 125047, Russia

Contacts: Kirill Viktorovich Shevchenko kshevchenko@nsi.ru

Background. Hydrocephalus can be developing by a traumatic brain injury, intracranial hemorrhage, tumor, meningitis of congenital malformation of the central nervous system. When the cause of the hydrocephalus is unclear it is supposed as idiopathic hydrocephalus. The most important classification features are the etiology and level of CSF obstruction. The classification was improved and developed with diagnostic and surgical methods simultaneously. Currently, the neurosurgeons have the possibility for usage of various methods and techniques of surgical treatment with their advantages and disadvantages. Systematization of radiological parameters is necessary to make a decision about the type of the surgery.

Aim. To analyze and systematize the neuroimaging characteristics of various forms of idiopathic hydrocephalus in adults, to assess the possible classification of idiopathic hydrocephalus.

Materials and methods. Between October 2011 and March 2021 290 patients with idiopathic adult hydrocephalus were operated at the N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Health of Russia: onset of symptoms in adulthood; no indications of the etiology of hydrocephalus and congenital hydrocephalus. The age of the patients was 50 ± 18.2 (18–85) years. The magnetic resonance images of patients were evaluated for the size of the ventricles, condition of convexital and basal subarachnoid spaces, obstruction of the CSF pathways, and changes in the position of the premamillary membrane, septum pellucidum, the roof of the 3rd ventricle and the tonsils of the cerebellum, the size of the sella turcica, the angle of the corpus callosum. The frequency of each of these parameters is statistically estimated for each form of idiopathic hydrocephalus.

Results. Aqueduct stenosis has become the most frequent form of idiopathic hydrocephalus. Hydrocephalus in obstruction of the foramen of Monroe, aqueduct, foramen of Magendie, and cisterns of the posterior cranial fossa was significantly more characteristic of young people ($p < 0.05$). Hydrocephalus with obstruction of convexital CSF spaces can be called hydrocephalus of the elderly ($p < 0.001$). Hydrocephalus without verified signs of occlusion CSF pathways occurs equally in all age groups. The FOHR index was significantly more important, and only in case of cisternal obstruction. Enlargement one or both lateral ventricles and flattening of the roof of the 3rd ventricle is characterized for Monroe's foramen obstruction ($p < 0.001$). The membrane at the outlet of the 4th ventricle and the absence of the "flow void" was typically only for patients with obstruction of the foramen of Magendie ($p < 0.001$). Ventral dislocation of the premamillary membrane was characteristic of obstruction of the cerebral aqueduct, the foramen of Magendie, and cisterns of the posterior cranial fossa. Compression of the convexital CSF spaces occurred in case of obstruction of the aqueduct, the foramen of Magendie, but CSF spaces of the posterior cranial fossa – only with obstruction of the foramen of Magendie. Dilation of the 4th ventricle was significantly associated with obstruction of the foramen of Magendie and cisterns of the posterior cranial fossa ($p < 0.05$). DESH symptom was significantly associated with obstruction of convexital CSF spaces ($p < 0.001$). Additional membranes in the cisterns of the posterior fossa were found only in cases of cisternal obstruction ($p < 0.001$). Cerebellar tonsils herniation was observed with obstruction of the foramen of Monroe, cerebral aqueduct, and foramina of Magendie.

Conclusion. Because of statistical analysis, general signs found in all types of hydrocephalus, and private ones, characterizing only specific signs of the type of the disease, both were found. The classification is logical and justified, it is well applicable in neurosurgical and radiological practice. It allows rational planning of diagnostic evaluation and treatment of patients. A modern magnetic resonance imaging protocol should include T2 scans (with "flow void") and FIESTA/CISS scans in the required planes, axial FLAIR scans.

Keywords: hydrocephalus, idiopathic adult hydrocephalus, classification of hydrocephalus, occlusive hydrocephalus, obstructive hydrocephalus, foramen of Monroe, aqueduct of brain, foramen of Magendie, normal pressure hydrocephalus, arachnoid cistern, endoscopic third ventriculostomy, ventriculoperitoneal shunt

For citation: Shevchenko K.V., Shimansky V.N., Tanyashin S.V. et al. Surgical aspects of classification and neuroimaging characteristics of idiopathic hydrocephalus in adults. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2023;25(3): 43–58. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-3-43-58

ВВЕДЕНИЕ

Под гидроцефалией понимается увеличение объема желудочков мозга в результате нарушения ликвороциркуляции [1, 2]. Причиной гидроцефалии могут стать черепно-мозговая травма, субарахноидальное кровоизлияние, опухоль, неонатальное внутрижелудочковое кровоизлияние, инфекционное воспаление оболочек мозга, пороки развития нервной системы. При развитии симптоматической гидроцефалии без очевидной причины говорят о ее идиопатической форме [1].

Классификация гидроцефалии помогает определить показания и выбрать метод хирургического лечения. Наиболее важными классифицирующими признаками гидроцефалии являются этиология заболевания и уровень обструкции ликворных путей [2].

Классификации гидроцефалии изменялись и развивались параллельно с развитием и внедрением новых диагностических и лечебных методов. W.E. Dandy в 1919 г. идентифицировал сосудистые сплетения боковых желудочков как основную структуру, производящую ликвор. Оценивая возможность проникновения вводимого контрастного вещества из желудочков мозга в спинальное субарахноидальное пространство (САП), он выделил гидроцефалию «сообщающуюся» и «не сообщающуюся» [3]. В 1960 г. J. Ransohoff и соавт. впервые доказали возможность обструкции ликворных путей как в желудочковой системе мозга, так и за ее пределами. Они предложили термин «экстравентрикулярная обструктивная гидроцефалия», обозначив им обструкцию ликворных путей за пределами желудочков. В противоположность этому, внутрижелудочковую обструкцию они обозначили термином «интравентрикулярная обструктивная гидроцефалия» [2, 4]. J. Li и соавт. при введении белка коалина в пространство арахноидальных цистерн задней черепной ямки (ЗЧЯ) у подопытных животных продемонстрировали возможность развития гидроцефалии как при изолированной обструкции вентральных цистерн ЗЧЯ, так и в последующем при изолированной обструкции конвексимальных САП [5].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) головы является основным методом диагностики гидроцефалии. Она позволяет уточнять проходимость водопровода мозга (ВМ) посредством последовательностей в режимах, чувствительных к движению ликвора [6–8]. Сагиттальные срезы показывают позицию преамиллярной мембраны (ПММ), разделяющей III желудочек и межножковую цистерну. Считается, что ее пролабирование в вентральном направлении свидетельствует о наличии постоянного градиента давления между этими ликворосодержащими пространствами и, таким

образом, косвенно указывает на обструкцию ликворных путей. Этот признак надежно предсказывает возможность эффективной эндоскопической тривентрикулостомии [9]. Также при МРТ выявляют случаи вентральной дислокации ПММ без интравентрикулярной обструкции ликворных путей [10, 11].

В 1998 г. Н. Kitagaki и соавт. использовали МРТ-волуметрию при идиопатической нормотензивной гидроцефалии и описали расширение боковых щелей мозга и отдельных борозд на конвексимальной поверхности больших полушарий с одновременной компрессией САП в области верхнего сагиттального синуса и в межполушарной щели [12]. Позже оно получило название «диспропорциональное расширение субарахноидальных пространств» (*disproportionally enlarged subarachnoid space hydrocephalus, DESH*), а исследование SYNPHONI подтвердило высокую прогностическую значимость этого симптома в диагностике идиопатической нормотензивной гидроцефалии [13, 14].

Классификация идиопатической гидроцефалии в литературе не представлена. В качестве отдельных нозологий выделяют «идиопатическую нормотензивную гидроцефалию» и «идиопатический стеноз водопровода мозга». При этом детальный поиск и изучение публикаций подтверждают большую вариабельность диагноза. Систематизация нейрорентгенологических признаков и акцентирование внимания на ключевых визуализационных характеристиках для разных форм идиопатической гидроцефалии отсутствуют, что вызывает сложности в правильной постановке диагноза и, следовательно, выборе адекватной тактики ведения и лечения пациентов. Необходимость классификации и систематизации различных форм заболевания актуальна в связи с появлением и развитием эндоскопической техники, новых методик лечения.

Цель исследования — анализ и систематизация нейровизуализационных характеристик различных форм идиопатической гидроцефалии взрослых (ИГВ), оценка ее возможной классификации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с октября 2011 г. по март 2021 г. в ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России (далее — Центр нейрохирургии) прошли лечение 290 пациентов с признаками заболевания, соответствующими критериям ИГВ:

- появление симптомов во взрослом возрасте;
- отсутствие указаний на этиологию гидроцефалии и врожденную гидроцефалию.

Кроме того, в исследование включали пациентов, которые ранее не получали хирургического лечения по поводу гидроцефалии за пределами Центра нейрохирургии. База данных проспективно пополнялась в течение всего периода набора материала.

Возраст пациентов варьировал от 18 до 85 лет (средний возраст составил $50 \pm 18,2$ года). В общей группе пациентов в гендерном соотношении преобладали женщины (54,1 %).

В сентябре 2014 г. на ежегодной конференции Международного общества по гидроцефалии и расстройствам ликвороциркуляции (International Society for Hydrocephalus and CSF Disorders, ISHCSF) рентгенолог Agi Blitz предложил классификацию гидроцефалии взрослых по уровню обструкции ликворных путей (табл. 1). Она является развитием подхода, предложенного ранее H.L. Rekate [2]. На основании оценки представленных ниже нейрорентгенологических параметров пациенты были отнесены в группы в зависимости от уровня обструкции по классификации Blitz.

Данные МРТ, выполненных пациентам к моменту госпитализации в Центр нейрохирургии, были проанализированы на предмет состояния различных отделов ликворопроводящих путей головного мозга и изменения положения анатомических структур.

Боковые желудочки считали расширенными, если отношение передних и задних рогов (FOHR) было $\geq 0,4$ [15] или индекс Evans был $>0,29$.

Об обструкции ВМ говорили при наличии расширения боковых и III желудочков в сочетании:

- с наличием видимых мембран в просвете ВМ на сагиттальных томограммах в режиме FIESTA;
- стенозом просвета ВМ утолщенной четверохолмной пластинкой;
- отсутствием движения ликвора в ВМ по данным изображений, полученных в режимах, чувствительных к току ликвора (T23DCUBE, фазово-контрастная МРТ (ФК-МРТ));
- гиперпульсацией ликвора по данным ФК-МРТ в случае расширения боковых и III желудочков в сочетании с наличием артефакта от пульсации ликвора в ВМ;
- вентральной дислокацией ПММ. Этот признак оценивали по сагиттальным срезам МРТ, предпочтительно в режиме магнитно-резонансной (МР) цистернографии. Если имеющиеся снимки не позволяли достоверно судить о наличии дислокации ПММ, то считали этот признак отсутствующим, и пациентов направляли на дообследование. Нормальным положение ПММ признается в случае, если она находится на линии, соединяющей мамиллярные тела и зрительный перекрест (хиазму). Аналогичным образом оценивали проходимость на выходе из IV желудочка. В дополнение к описанным признакам во всех случаях фиксировалась тетра-вентрикулярная гидроцефалия.

Конвекситальные САП считали компримированными, если в режиме T2 над извилинами не визуализировался ликвор, в остальных случаях считалось, что они прослеживаются или имеется симптом DESH (см. ниже).

Таблица 1. Классификация идиопатической гидроцефалии взрослых

Table 1. Classification of idiopathic hydrocephalus of adults

Форма гидроцефалии Type of hydrocephalus	Название гидроцефалии Name of hydrocephalus	Локализация обструкции Place of obstruction
АН1	Гидроцефалия при обструкции отверстий Монро (рис. 1, 2) Hydrocephalus due to foramen of Monroe obstruction (fig. 1, 2)	Отверстия Монро Foramen of Monroe
АН2a	Гидроцефалия при стенозе водопровода мозга (рис. 3) Hydrocephalus due to aqueduct stenosis (fig. 3)	Водопровод мозга Aqueduct of the brain
АН2b	Гидроцефалия при обструкции выходных отверстий IV желудочка (рис. 4) Hydrocephalus due to foramen of Magendie and Lushka obstruction (fig. 4)	Отверстия Мажанди и Люшка Foramen of Magendie and Lushka
АН3	Гидроцефалия при обструкции цистерн основания задней черепной ямки (рис. 5) Hydrocephalus due to obstruction of the posterior cranial fossa cisterns (fig. 5)	Цистерны задней черепной ямки Posterior cranial fossa cisterns
АН4	Гидроцефалия с диспропорциональным расширением субарахноидальных пространств (рис. 6) Hydrocephalus with disproportional enlarged subarachnoid spaces (fig. 6)	Конвекситальные субарахноидальные пространства Convexital subarachnoid spaces
АН5	Гидроцефалия без признаков обструкции ликворных путей (рис. 7) Hydrocephalus without CSF obstruction (fig. 7)	Обструкция отсутствует (точнее место ее не определено) Absence of obstruction (this wasn't found)

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: АН — гидроцефалия взрослых (adult hydrocephalus).

Note. Here and in table 2, 3: AH — adult hydrocephalus.

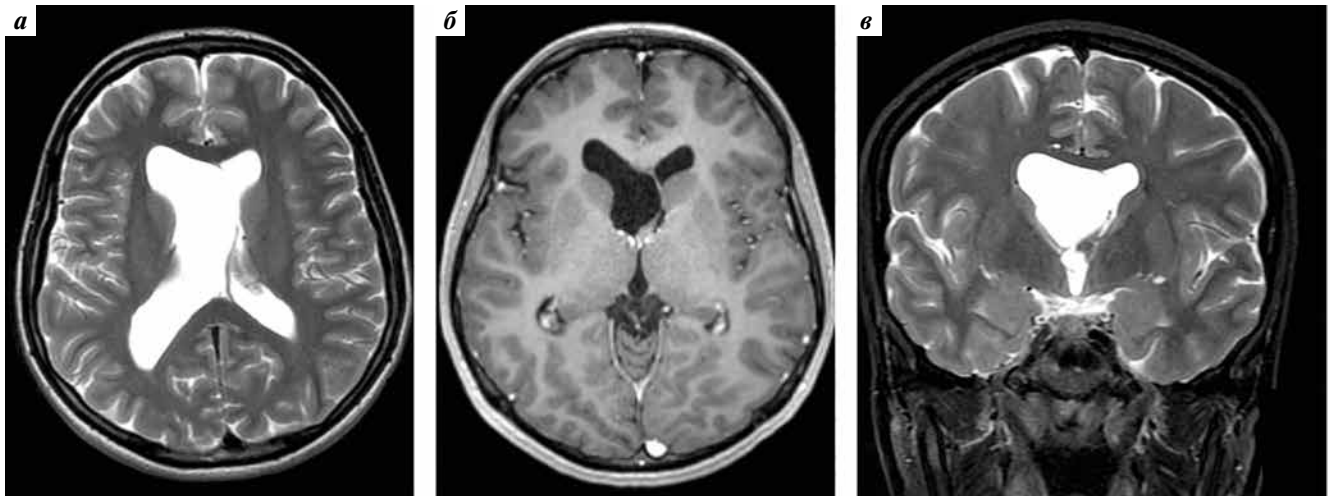


Рис. 1. Гидроцефалия при односторонней обструкции отверстия Монро (AH1 D). На аксиальной томограмме в режиме T2 определяются расширение правого бокового желудочка, дислокация межжелудочковой перегородки влево, конвекситальные субарахноидальные пространства не изменены (а). При исследовании с парамагнетиком исключен объемный процесс в области отверстий Монро (б). На фронтальном срезе в режиме T2 также верифицируются расширение правого бокового желудочка, дислокация межжелудочковой перегородки влево, а также закрытое мембраной правое отверстие Монро (в). Во время эндоскопической операции было подтверждено наличие этой мембраны

Fig. 1. Hydrocephalus due to unilateral obstruction of the foramen of Monroe (AH1 D). Axial T2: enlargement of the right lateral ventricle, left dislocation of the septum pellucidum, convexital subarachnoid spaces normal (a). No neoplastic lesions on the post-contrast magnetic resonance imaging (б). Coronal T2: enlargement of the right lateral ventricle, left dislocation of septum pellucidum, membrane obstruction of the right foramen of Monroe (в). The presence of this membrane was confirmed due to endoscopic surgery

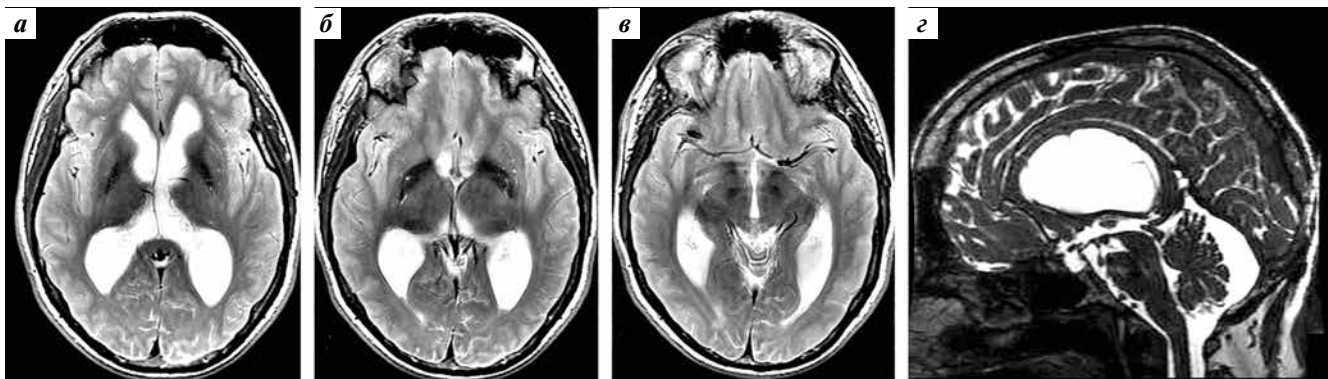


Рис. 2. Гидроцефалия при билатеральной обструкции отверстий Монро (AH1). Расширены оба боковых желудочка (а). На томограмме на уровне отверстий Монро не обнаружены новообразования (коллоидные кисты, опухоли) (б). Размеры III желудочка нормальные (в). Сагиттальная томограмма демонстрирует уплощение крыши III желудочка, IV желудочек нормальных размеров, субарахноидальные пространства задней черепной ямки проходимы, не сдавлены, водопровод мозга проходим и не расширен (г)

Fig. 2. Hydrocephalus due to bilateral obstruction of the foramina of Monroe (AH1). Both lateral ventricles are enlarged (a). No neoplastic lesions in the foramina of Monroe (colloid cyst, tumor) (б). Normal size of the 3rd ventricle (в). Sagittal image is demonstrated are flattening of the roof of the 3rd ventricle, 4th ventricle has normal size, subarachnoid spaces of the posterior cranial fossa are normal, aqueduct is free and not enlarged (г)

Диспропорциональным расширением САП (DESH) называли ситуацию с компрессией САП в задних отделах межполушарной щели и около задней трети верхнего сагиттального синуса в сочетании с расширением боковых щелей мозга и иногда борозд на конвексальной поверхности больших полушарий мозга.

Третий желудочек считался расширенным при значении индекса III желудочка $>0,048$; IV желудочек считался расширенным при значении индекса IV желудочка (FVWT) $>0,14$ и/или переднезаднего размера (FVWP) $>11,91$ мм.

Субарахноидальные пространства ЗЧЯ оценивали визуально, не пользуясь объективными параметрами. Оценка формировалась на основании прослеживания сигнала ликвора по срединно-сагиттальным изображениям, их проходимость определялась по наличию артефакта от пульсации ликвора.

Фиксировали наличие перивентрикулярного свечения в режимах T2/FLAIR, а также наличие изменений сигнала в этих режимах в подкорковых узлах, белом веществе головного мозга.

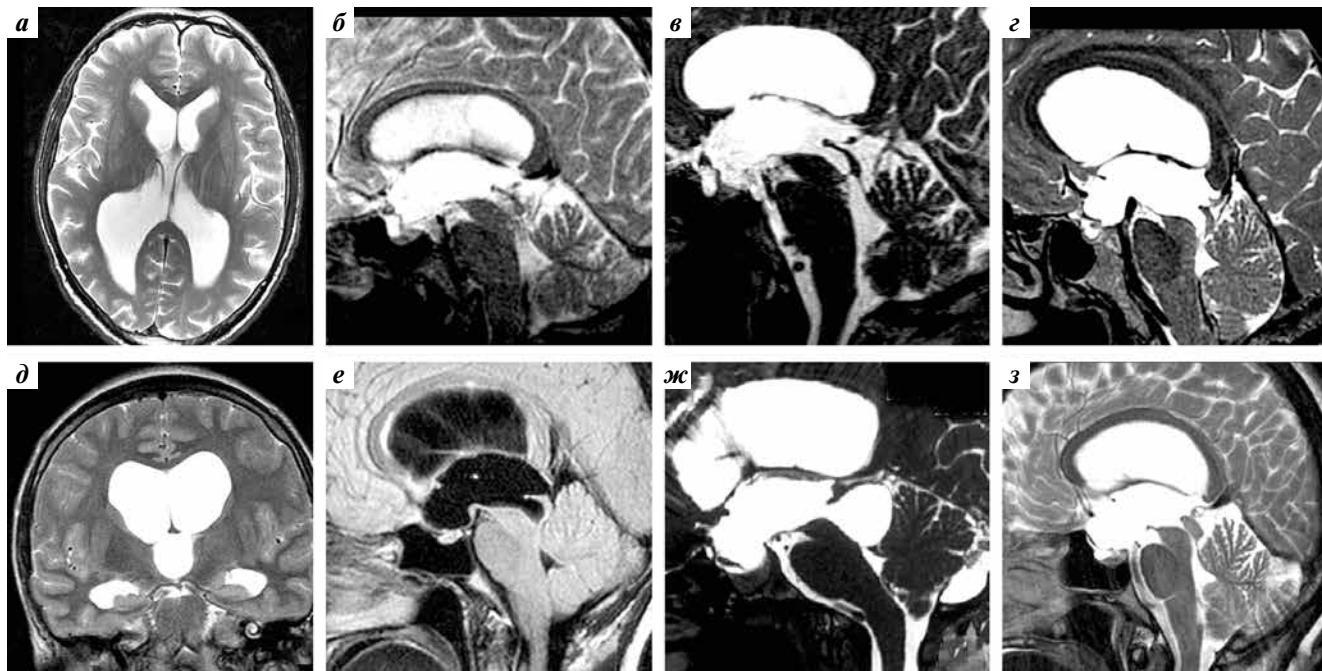


Рис. 3. Гидроцефалия при стенозе водопровода мозга (ВМ) (АН2а): а — аксиальная томограмма в режиме T2 демонстрирует расширение боковых желудочков при четкой равномерной выраженности конвексимальных субарахноидальных пространств; б — сагиттальная томограмма в T2 создает ложное впечатление о проходимости ВМ, при этом контуры III желудочка сглажены; в — сагиттальный срез в режиме цистернографии верифицировал мембрану в каудальных отделах ВМ; г — типичная картина обструкции ВМ: расширение боковых и III желудочков, просвет ВМ закрыт мембраной в каудальных отделах, ростральные отделы расширены, премамиллярная мембрана имеет ВМ, миндалины мозжечка пролабируют в большое затылочное отверстие, субарахноидальные пространства задней черепной ямки сдавлены; д — фронтальный срез в режиме T2: расширены боковые и III желудочки, компримированы конвексимальные субарахноидальные пространства; е — вариант стеноза ВМ с более выраженным расширением его ростральных отделов, чем на изображении «г»; ж — сагиттальный срез в режиме T2, представляющий картину далеко зашедшего стеноза ВМ: резко расширен весь ВМ, за исключением участка сужения его наиболее каудального отдела; з — стеноз ВМ в результате утолщения четверохолмной пластинки, сигнал от нее в режиме T2 изointенсивен мозгу, что обычно позволяет исключить глиому

Fig. 3. Hydrocephalus due to aqueduct stenosis (АН2а): а — axial T2: enlargement of the both lateral ventricles and normal convex subarachnoid spaces; б — sagittal T2 is making a false impression about patency of aqueduct, frame of the 3rd ventricle is smoothed; в — sagittal FIESTA is verified a membrane of caudal part of the aqueduct; г — typical picture of the obstruction of the aqueduct of brain: lateral ventricles and 3rd ventricle are enlarged, the lumen of the aqueduct is blocked by the membrane, rostral part of the aqueduct is enlarged, premamillary membrane has a ventral position, herniation of tonsillas, compression of the posterior cranial fossa subarachnoid spaces; д — frontal T2 scan: lateral ventricles and 3rd ventricle are enlarged, compression of convex subarachnoid spaces; е — variant of the aqueduct stenosis with more rostral expansion than on figure «г»; ж — sagittal T2 is presented far advanced aqueduct stenosis: whole aqueduct is extremely enlarged as a result of caudal membranous obstruction; з — aqueduct stenosis as a result of thickening of the quadrigeminal plate, T2 signal from this and from the brain are the same, which is making a possible to exclude glioma

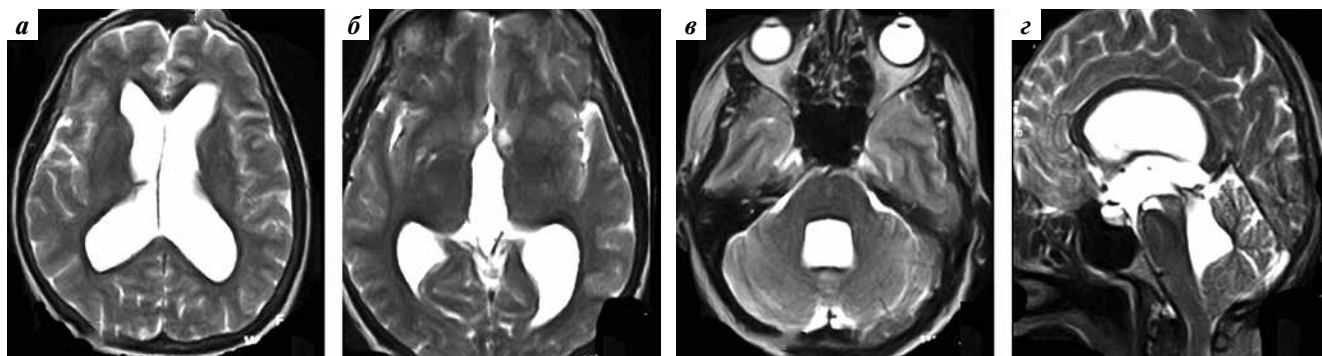


Рис. 4. Гидроцефалия при обструкции выходных отверстий IV желудочка (АН2б): а, б — расширение боковых и III желудочков мозга, конвексимальные субарахноидальные пространства выражены слабо, компримированы; в — расширение IV желудочка, субарахноидальные пространства задней черепной ямки компримированы; г — сагиттальная томограмма демонстрирует водопровод мозга премамиллярной мембраны, расширение просвета водопровода мозга, пролабирование миндалин мозжечка в большое затылочное отверстие

Fig. 4. Hydrocephalus due to obstruction of the outlets of the 4th ventricle (АН2б): а, б — enlargement of the both lateral and 3rd ventricles, convex subarachnoid spaces of the posterior cranial fossa are compressed; в — enlargement of the 4th ventricle, convex subarachnoid spaces of the posterior cranial fossa are compressed; г — sagittal image: ventral dislocation of the premamillary membrane, enlargement of the aqueduct, tonsillas herniation

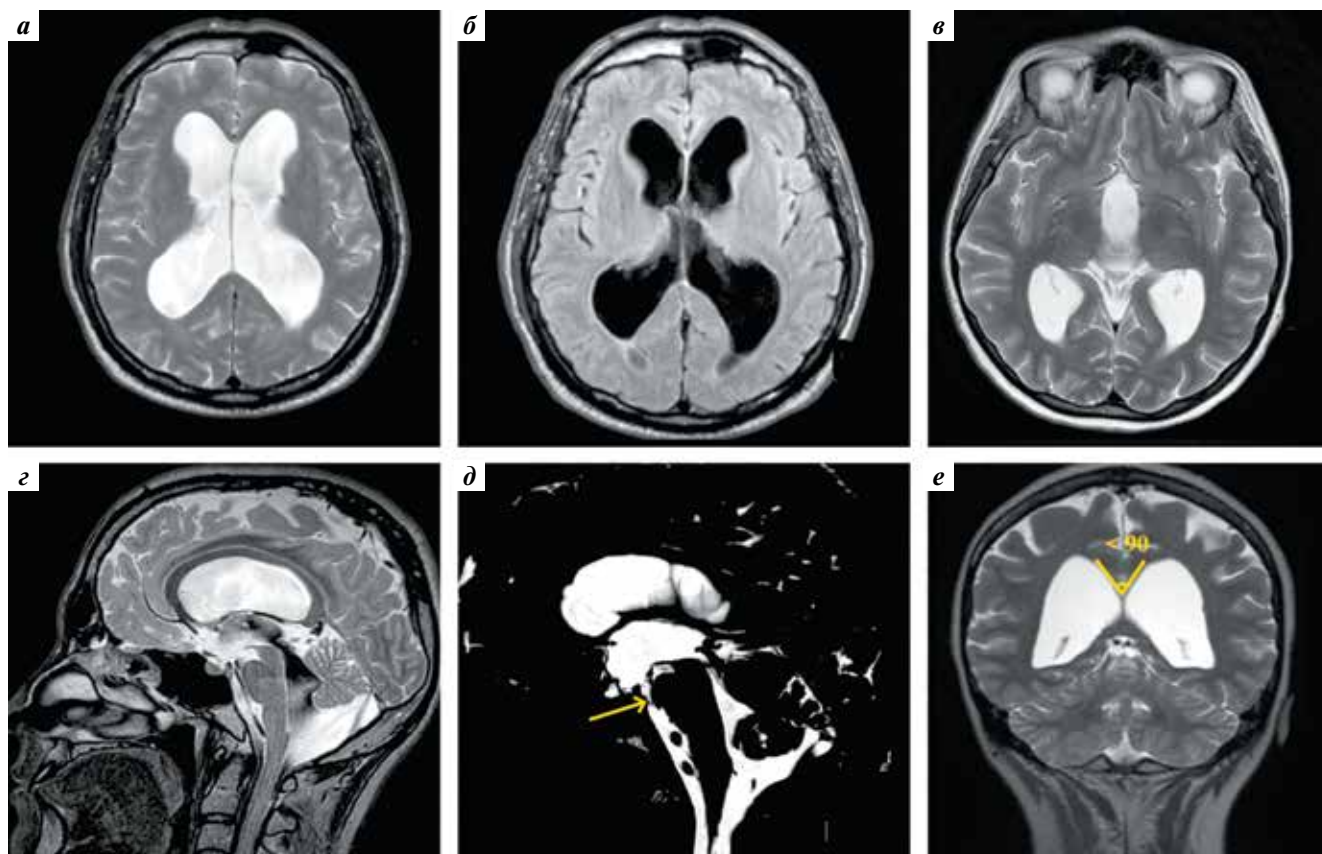


Рис. 5. Гидроцефалия при обструкции цистерн задней черепной ямки (АНЗ). Расширены боковые и III желудочки (а–в), изменение сигнала перивентрикулярно отсутствует (а, б), конвекситальные субарахноидальные пространства прослеживаются (а, в, е). Сагиттальные томограммы демонстрируют проходимость ликворных путей на уровне водопровода мозга и на выходе из IV желудочка (з, д). Каудальные отделы водопровода мозга расширены сильнее ростральных (з, д). Субарахноидальные пространства задней черепной ямки не изменены или расширены (д). В режиме цистернографии между вентральной поверхностью ствола мозга и скатом визуализируется дополнительная мембрана (указано стрелкой) (д), большая затылочная цистерна увеличена. Угол мозолистого тела на уровне задней спайки острый (е)

Fig. 5. Hydrocephalus due to obstruction of the posterior cranial fossa cisterns (AH3). Lateral ventricles and 3rd ventricle are enlarged (a–в), periventricular changing of the signal is absent (a, б), convexital subarachnoid spaces are normal (a, в, е). Sagittal scans are demonstrated, that aqueduct and 4th ventricle outlets are free (з, д). Caudal part of the aqueduct is more expanded than rostral (з, д). Subarachnoid spaces of the posterior cranial fossa are not changed or enlarged (д). Additional membrane between ventral surface of the pons and clivus is visualized on the cisternography scan (arrowed) (д), cisterna magna is enlarged. Corpus callosum corner is sharp (е)

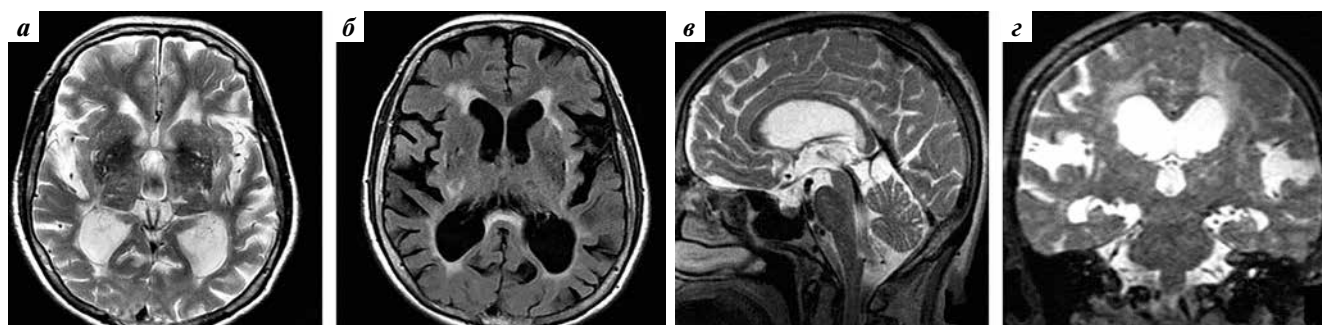


Рис. 6. Гидроцефалия с диспропорциональным расширением субарахноидальных пространств (АН4). Расширены боковые и III желудочки (а, з). Размеры IV желудочка близки к нормальным (б). Положение премамиллярной мембраны нормальное, водопровод мозга и выходы из IV желудочка проходимы, о чем свидетельствует артефакт на сагиттальном срезе в режиме T2 (в). Коронарный срез в режиме T2 демонстрирует значительное расширение боковых щелей мозга, при этом субарахноидальные пространства в межполушарной щели и в окрестностях верхнего сагиттального синуса компримированы. Вокруг желудочков, в подкорковых узлах и стволе многочисленные очаги повышения T2- и FLAIR-сигнала (а, б, з)

Fig. 6. Hydrocephalus with DESH-symptom (AH4). Lateral ventricles and 3rd ventricle are enlarged (a, з). Sizes of the 4th ventricle close to normal (б). Premamillary membrane has a normal position, aqueduct and 4th ventricle outlets are free, that's confirmed by the "flow void" on the T2 scan (в). Frontal T2 shows a significant expansion of the lateral fissures, while subarachnoid spaces of the parasagittal and interhemispheric regions are compressed. Hyperintensive periventricular, subcortical and brain stem signal T2 and FLAIR (a, б, з)

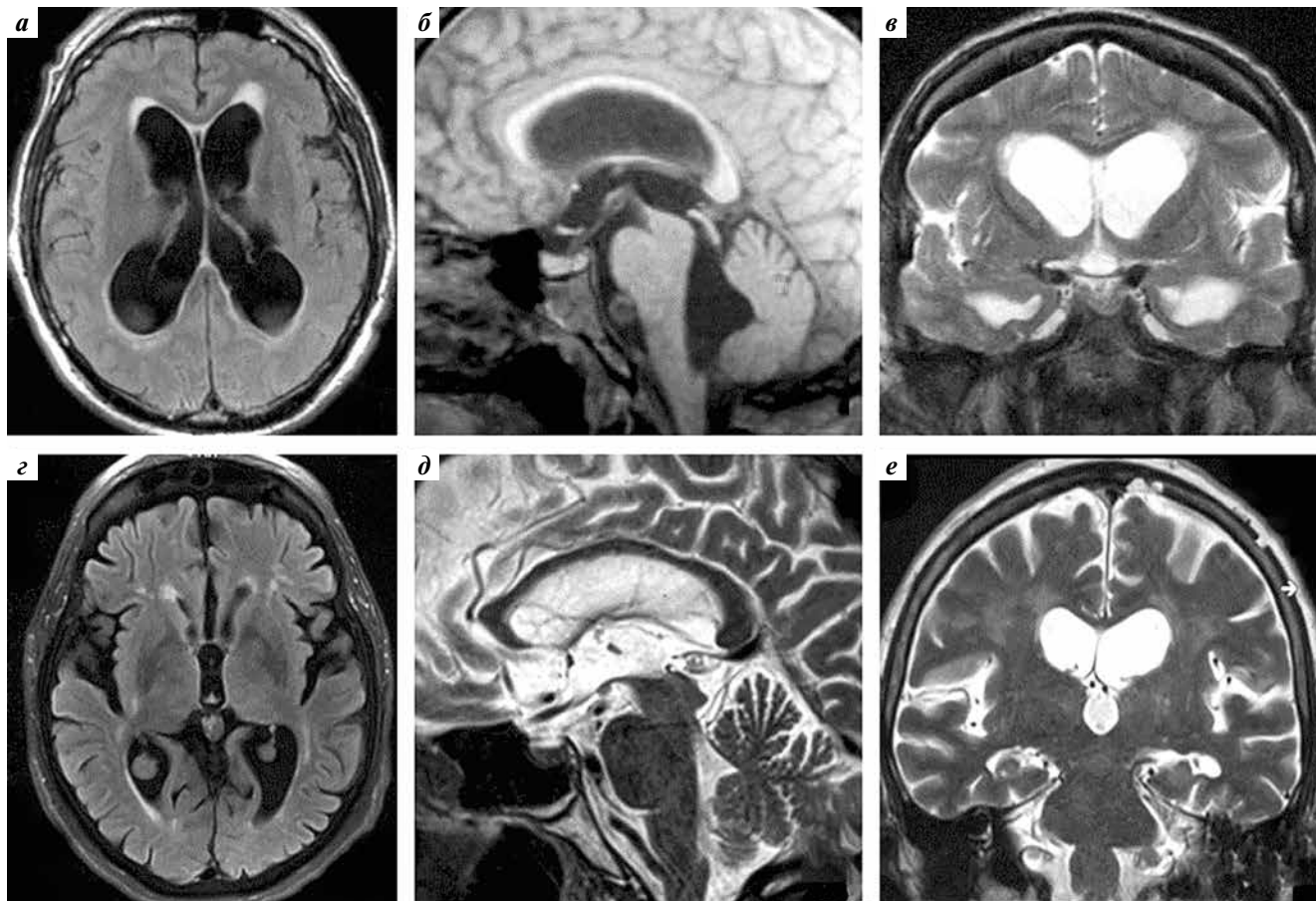


Рис. 7. Гидроцефалия без определенных признаков обструкции (АН5). Изображения демонстрируют гетерогенность группы пациентов с АН5. У пациентов встречается расширение боковых (а), III (б, г) и IV (б) желудочков. Конвексимальные субарахноидальные пространства могут быть компримированы (в) или проследиваться (е), либо быть неравномерно расширенными (е, г). Премамиллярная мембрана находится в нормальном положении (б, д). Субарахноидальные пространства задней черепной ямки выражены обычно. Артефакт от пульсации ликвора в водопроводе мозга присутствует (д). Большая затылочная цистерна выражена обычно (д). Несколько симметричных очагов повышения сигнала в режимах T2/FLAIR вокруг желудочков, в коре и глубинных отделах обоих полушарий (а, в, г)

Fig. 7. Hydrocephalus without verified obstruction (AH5). Scans show a variable of the group of patients AH5. The next signs may be observed at different patients: enlargement of the lateral both (a), 3rd (б, г) and 4th (б) ventricles. Convexital subarachnoid spaces may be compressed (в) or normal (е), or unevenly expanded (е, г). Premamillary membrane has a normal position (б, д). Subarachnoid spaces of the posterior cranial fossa are usual. "Flow void" in the aqueduct (д). Cisterna magna is usual (д). Several foci of hyperintensive signal in T2/FLAIR around ventricles, in the cortex, in the deep white mater of the hemispheres (а, в, г)

Размеры турецкого седла считали увеличенными при значении переднезаднего размера >15 мм, а высоты >13 мм.

Водопровод мозга считали нормальным при отсутствии у пациента расширения III желудочка и наличии артефакта от пульсации ликвора в нем. Выделяли следующие варианты состояния ВМ: широкий рострально (при расширении передних отделов); широкий каудально (при расширении дистальных отделов); расширен весь ВМ; стеноз ВМ (сочетание тривентрикулярной гидроцефалии, наличие артефакта от пульсации ликвора по ВМ и гиперпульсация ликвора в ВМ по ФК-МРТ).

Размеры большой затылочной цистерны оценивали субъективно. Принимали во внимание заполнение ее миндалинами мозжечка, проследивание сигнала от ликвора и от его пульсации.

Проходимость цистерн основания ЗЧЯ вдоль вентральной поверхности ствола мозга оценивали по наличию артефакта от пульсации ликвора в режиме Т2. В режиме FIESTA (CISS) фиксировали наличие дополнительных мембран в просвете цистерн ЗЧЯ.

Миндалины мозжечка признавали дистопированными в случае опущения их края ниже линии Mc Ray.

Для выявления наиболее специфических признаков каждой из групп по классификации Blitz проводили сравнение данных пациентов исследуемой группы с данными остальных пациентов. Для сравнения встречаемости качественных признаков использовали точный критерий Фишера (двусторонний вариант). Для сравнения групп по количественным параметрам использовали критерий Манна–Уитни (двусторонний вариант). За уровень статистической значимости приняли значение $p < 0,05$. Результаты представлены в виде

Таблица 2. Данные о возрасте пациентов и распределение по полу при различных формах идиопатической гидроцефалии взрослых

Table 2. Age and sex difference between different types of idiopathic hydrocephalus of adults

Параметр Parameter	Общая группа Common group	АН1	АН2а	АН2b	АН3	АН4	АН5
Возраст, лет Age, years	50 ± 18,2 (18–85)	40 ± 12,4 (23–67)	42 ± 16,7 (18–77)	47 ± 16,5 (26–74)	46,2 ± 18,1 (18–79)	68 ± 6,3 (55–85)	63 ± 11,8 (29–77)
Пол, %: Sex, %:							
женщины woman	54,1	61,5	49,5	61,1	61,5	48,1	59,3
мужчины man	45,9	38,4	50,5	38,9	38,5	51,9	40,7

медиан, средних значений, стандартных отклонений, минимальных и максимальных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среди всех форм ИГВ наиболее часто была зафиксирована АН2а. При анализе возрастного параметра установлено, что формы интравентрикулярной обструкции (АН1, АН2а, АН2b), а также экстравентрикулярная цистерная обструкция (АН3) достоверно чаще диагностируются у молодых пациентов ($p < 0,05$). Средний возраст в этих группах составил < 60 лет. Гидроцефалию с симптомом DESH (АН4) достоверно можно считать гидроцефалией пожилых людей, поскольку средний возраст пациентов составил $68 \pm 6,3$ (55–85) года. В случаях гидроцефалии АН5 не установлено достоверной связи с возрастом пациентов, она одинаково часто встречается во всех возрастных группах ($p > 0,05$).

В гендерном соотношении установлено явное преобладание женщин в случаях гидроцефалии АН1 (61,5 %) и АН3 (61,5 %). В остальных случаях соотношение было примерно одинаковым.

Данные о возрасте и распределение по полу при различных формах ИГВ отражены в табл. 2.

Боковые желудочки были расширены у всех 290 (100 %) пациентов.

Подробные данные о различных нейрорентгенологических параметрах для каждой формы ИГВ отражены в табл. 3.

Значения индексов Evans, FOHR, FHR и BCR были более высокими у пациентов с АН3 — $0,37 \pm 0,06$ (0,29–0,64), $0,52 \pm 0,06$ (0,4–0,74), $0,46 \pm 0,07$ (0,34–0,73), $0,29 \pm 0,05$ (0,17–0,48) соответственно, но достоверным оказался только параметр FOHR ($p = 0,031$).

Расширение только одного или обоих боковых желудочков достоверно связано с гидроцефалией АН1, так же как и дислокация межжелудочковой перегородки и уплощение крыши III желудочка ($p < 0,001$). Формы гидроцефалии АН2а, АН4 и АН5 характеризовались расширением боковых и III желудочков, а формы АН2b, АН3 и у части пациентов АН4 и АН5 включали и расширение IV желудочка.

Отсутствие артефакта от пульсации ликвора по ВМ достоверно ($p < 0,001$) характерно только для пациентов с АН2а (99,1 %). Исключение составил 1 пациент с неполным стенозом ВМ, где артефакт был сохранен, но при ФК-МРТ были выявлены признаки стеноза просвета ВМ.

Типы обструкции ВМ не имели значения для определения тактики хирургического лечения, в связи с чем частота каждого из них не оценивалась.

Наличие мембраны на выходе из IV желудочка и отсутствие артефакта от пульсации ликвора в этой зоне были характерны исключительно для пациентов с АН2b ($p < 0,001$). У пациентов с другими формами ИГВ данные признаки не наблюдались.

Вентральная дислокация ПММ была зафиксирована у 174 (60 %) пациентов из общей группы. Этот признак был характерен для пациентов с АН2а (85 %), АН2b (100 %) и АН3 (87,7 %). Степень ее пролабирования никак не градировалась, поскольку это не имело значения для определения тактики лечения.

Конвекситальные САП были компримированы у 118 (40,7 %) пациентов. Наибольшая частота этого симптома отмечена у пациентов с АН2b (72,3 %) и АН2а (69,9 %), и он не встречался вовсе у пациентов с АН4.

Симптом DESH был достоверно связан с АН4 — «гидроцефалией пожилых» ($p < 0,001$). У пациентов старше 60 лет DESH также отмечалось при АН2а (0,9 %).

Третий желудочек был расширен у всех пациентов, за исключением группы АН1. Более широким он был у пациентов с АН2b ($p = 0,006$) и АН3 ($p < 0,001$).

Расширение IV желудочка (FVWT и FVWAP) наблюдалось у пациентов с АН2b (94,4 %), АН3 (89,2 %), а также у части пациентов с АН4 (5,5 %) и АН5 (29,6 %). У пациентов с АН1 IV желудочек был всегда нормальных размеров. Расширение IV желудочка было достоверно связано с АН2b и АН3 ($p < 0,05$).

Субарахноидальные пространства ЗЧЯ были расширены у пациентов с АН3 (69,2 %) и АН4 (51,9 %) значительно чаще, чем в других случаях. У пациентов с АН2b, наоборот, отмечалась тенденция к компрессии этих ликворных пространств (72,2 %) ($p = 0,039$).

Таблица 3. Нейрорентгенологические параметры при различных формах идиопатической гидроцефалии взрослых
Table 3. Radiological parameters in various forms of idiopathic adult hydrocephalus

Параметр Parameter	АН1	АН2a	АН2b	АН3	АН4	АН5	Референсные значения Reference
Значения индексов, M ± SD (min – max) Index values, M ± SD (min – max)							
Evans	0,3 ± 0,03 (0,26–0,3)	0,36 ± 0,07 (0,24–0,85)	0,35 ± 0,08 (0,25–0,59)	0,37 ± 0,06 (0,29–0,64)	0,34 ± 0,02 (0,27–0,43)	0,34 ± 0,04 (0,25–0,41)	≤0,29
FOHR	0,43 ± 0,05 (0,35–0,57)	0,5 ± 0,06 (0,38–0,7)	0,5 ± 0,08 (0,36–0,66)	0,52 ± 0,06 (0,4–0,74) ↑*	0,44 ± 0,02 (0,38–0,52) ↓*	0,47 ± 0,06 (0,39–0,68)	–
FHR	0,37 ± 0,03 (0,32–0,42)	0,44 ± 0,08 (0,29–0,87)	0,44 ± 0,1 (0,32–0,68)	0,46 ± 0,07 (0,34–0,73)	0,4 ± 0,04 (0,28–0,52)	0,42 ± 0,05 (0,34–0,55)	–
BCR	0,21 ± 0,06 (0,12–0,31)	0,27 ± 0,06 (0,130,69)	0,28 ± 0,07 (0,14–0,39)	0,29 ± 0,05 (0,17–0,48)	0,24 ± 0,02 (0,19–0,33)	0,27 ± 0,04 (0,2–0,37)	–
TVWT	–	0,13 ± 0,02 (0,07–0,23)	0,14 ± 0,04 (0,09–0,22)	0,14 ± 0,02 (0,08–0,24)	0,1 ± 0,01 (0,07–0,16)	0,12 ± 0,02 (0,06–0,2)	–
FVWAP	–	8,44 ± 2,81 (2,5–18,2)	25,3 ± 10,7 (3,3–44)	16,2 ± 4,1 (8–26,8)	12,7 ± 3,1 (6–19,5)	12,3 ± 4,1 (7–22,3)	–
FVWT	–	0,12 ± 0,05 (0,01–0,6)	0,25 ± 0,09 (0,05–0,41)	0,19 ± 0,04 (0,12–0,36)	0,18 ± 0,02 (0,08–0,2)	0,18 ± 0,04 (0,12–0,3)	–
3VSFR	0,54 ± 0,03 (0,48–0,6)	0,5 ± 0,04 (0,31–0,61)	0,5 ± 0,05 (0,39–0,57)	0,48 ± 0,03 (0,41–0,57)	0,45 ± 0,03 (0,41–0,56)	0,46 ± 0,03 (0,41–0,58)	–
Частота выявления признака при соответствующей форме гидроцефалии, % Frequency of detection of the sign with the corresponding type of hydrocephalus, %							
Расширение боковых желудочков Enlargement of lateral ventricles	100	100	100	100	100	100	–
Расширение III желудочка Enlargement of 3 rd ventricle	0	100	100	100	100	100	–
Расширение IV желудочка Enlargement of 4 th ventricle	0	0 ↓*	94,4 ↑*	89,2 ↑*	5,5	29,6	–
Перивентрикулярное изменение сигнала Periventricular changes of the signal	33,4	40,7	38,9	18,4	96,3 ↑*	59,2	Не определяется No
Изменение сигнала от подкорковых структур и в белом веществе мозга Subcortical and white matter changes of the signal	8,4	8,8	11,1	9,2	87 ↑*	51,8	Не определяется No

Продолжение табл. 3
Continuation of table 3

Параметр Parameter	АН1	АН2а	АН2б	АН3	АН4	АН5	Референсные значения Reference
Проходимость ВМ: Patency aqueduct: проходим free непроходим blocked	100 0	0,9 99,1	100 0	100 0	100 0	100 0	Проходим Free
Состояние ВМ: Structure of aqueduct: расширен рострально rostral enlargement расширен каудально caudal enlargement весь ВМ расширен enlargement of whole aqueduct равномерно сужен patrowed нормальный normal	— — — — 100	94,7 ↑* 0 0 1,8 3,5	0 11,2 77,8 ↑* 0 0	0 73,8 ↑* 20 3,1 0	0 0 0 0 100	0 0 3,7 0 96,3	Нормальный Normal
Угол мозолистого тела на уровне задней спайки мозга: Corner of the corpus callosum by the posterior commissure: <90° >90°	— —	76,1 23,9	83,3 16,7	89,2 10,8	98,1 1,9	81,5 18,5	>90°
Размеры турецкого седла: Sizes of the sella turcica: увеличены enlarged нормальные normal	0 100	33,6 66,4	33,3 66,7	21,5 78,5	1,9 98,1	11,1 88,9	Длина 9–15 мм Length 9–15 mm Высота 7–13 мм Height 7–13 mm
Размеры БЗЦ: Cisterna magna sizes: нормальные normal увеличены enlarged	100 0	98,2 1,8	100 0	9,2 90,8	100 0	96,3 3,7	—
САП ЗЧЯ: SAS PCF прослеживаются normal расширены enlarged компримированы compressed	91,6 ↑ 0 8,4	88,5 ↑ 0,9 10,6	27,8 0 72,2 ↑*	27,7 69,2 ↑* 3,1	48,1 51,9 0	63 37 0	Прослеживаются Normal

Окончание табл. 3
End of table 3

Параметр Parameter	АН1	АН2а	АН2б	АН3	АН4	АН5	Референсные значения Reference
Конвекситальные САП: SAS convexital: прослеживаются normal компримированы enlarged расширены compressed DESH	41,7	27,4	27,7	73,9 ↑	1,9	62,9	Простеживаются Normal
	0	69,9 ↑*	72,3 ↑*	24,6	0	7,4	
	58,3	0,9	0	1,5	0	14,8	
	0	0,9	0	0	98,1 ↑*	0	
Положение ПММ: Position PMM: нормальное normal вентральная дислокация ventral вентральная дислокация сомнительна ventral doubtful	100	9,7	0	6,1	96,3	88,9	Нормальное положение Normal position
	0	85,8 ↑*	100 ↑*	87,7 ↑*	0 ↓*	0 ↓*	
	0	3,5	0	4,6	3,7	11,1	
МЖП: Septum pellucidum: посередине midline с дислокацией lateral	58,3	100	100	100	100	100	По средней линии (посередине) Midline
	41,7 ↑*	0	0	0	0	0	
Крыша III желудочка: Roof of the 3 rd ventricle: нормальная normal уплощена flattened	58,3	100	100	100	100	100	Нормальная Normal
	41,7 ↑*	0	0	0	0	0	
Прокладимость цистерн ЗЧЯ: Patency of the PCF cisterns: сохранена saved нарушена no	100	100	100	0	100	100	Сохранена Saved
	0	0	0	100 ↑*	0	0	
Опушение миндалин мозжечка Tonsillas herniation	16,7	9,7	38,8 ↑*	0	0	0	Ниже линии Mc Ray Below Mc Ray line

* $p < 0,05$.

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, статистически значимо ($p < 0,05$) отличающие соответствующую форму гидроцефалии от остальных; стрелками обозначено «направление» статистически значимых различий: ↑ — чаще или больше, чем при других формах гидроцефалии; ↓ — реже или меньше, чем при других формах гидроцефалии. ВМ — водопровод мозга; БЗЦ — большая затылочная цистерна; САП — субархноидальное пространство; ЗЧЯ — задняя черепная ямка; DESH — диспропорциональное расширение ликворных пространств; ПММ — преампулярная мембрана; МЖП — межжелудочковая перегородка.

Note. The values that statistically significantly ($p < 0.05$) distinguish the corresponding form of hydrocephalus from the rest are highlighted in bold; arrows indicate the direction of statistically significant differences: ↑ — more often or more than with other forms of hydrocephalus; ↓ — less often or less than with other forms of hydrocephalus. SAS — subarachnoid spaces; PCF — posterior cranial fossa; DESH — disproportionally enlarged subarachnoid space hydrocephalus.

Наличие перивентрикулярного свечения в режимах T2/FLAIR, а также изменений сигнала в этих режимах в подкорковых узлах, белом веществе головного мозга встречалось достоверно чаще ($p < 0,001$, $p = 0,004$) у пациентов с АН4 (96,3 и 87 % соответственно), а также при других формах интравентрикулярной обструктивной гидроцефалии у пациентов старше 60 лет.

Увеличение размеров турецкого седла чаще отмечалось у пациентов с АН2а и АН2b (33,6 и 33,3 % соответственно), несколько реже при АН3 (21,5 %). В остальных группах этот признак был минимально выражен или отсутствовал.

Водопровод мозга был широким только роstralно исключительно у пациентов с АН2а (94,7 %, $p < 0,001$). Отдельно расширение только каудальных отделов ВМ было обнаружено при АН3 (73,8 %) и АН2b (11,2 %). Расширение всего ВМ достоверно чаще наблюдалось при АН2b (77,8 %, $p = 0,002$), а также встречалось при АН3 (20 %) и АН5 (3,7 %). Стеноз ВМ с сохранением его проходимости был зафиксирован только в 1 случае.

Размеры большой затылочной цистерны были увеличены у всех пациентов с АН3, что было достоверным признаком этой формы (90,8 %, $p < 0,001$).

Пройодимость цистерн основания ЗЧЯ была сохранена во всех случаях, за исключением АН3, при которой в 100 % случаев она отсутствовала. У части пациентов с АН2b и АН2а ввиду выраженного градиента давления оценить проходимость цистерн было затруднительно. Дополнительные мембраны в цистернах ЗЧЯ были обнаружены исключительно в случаях АН3, что было патогномично ($p < 0,001$).

Опущение миндалин мозжечка в большое затылочное отверстие наблюдалось у пациентов с АН1 (16,7 %), АН2а (9,7 %) и АН2b (38,8 %). При других формах ИГВ дислокации миндалин мозжечка не происходило.

ОБСУЖДЕНИЕ

Этиологический фактор является одним из основных в классификации гидроцефалии, он определяет целесообразность проведения эндоскопической операции по коррекции ликвородинамических нарушений. Постинфекционная, постгеморрагическая, посттравматическая и в ряде случаев врожденная гидроцефалии неминуемо сопряжены с нарушением резорбции ликвора, поэтому эндоскопическое вмешательство малоэффективно и не имеет смысла независимо от наличия внутрижелудочковой обструкции. Единственный вариант лечения для таких пациентов — ликворошунтирующая операция. Этиология гидроцефалии может быть установлена путем подробного сбора анамнеза у пациента и его ближайшего окружения. Пациенты с опухолями, вызывающими обструкцию ВМ и не подлежащими удалению по различным причинам, являются хорошими кандидатами для эндоскопической тривентрикулоустомии.

При идиопатической гидроцефалии обнаружение места обструкции ликворопроводящих путей, определение возможности применения эндоскопической или ликворошунтирующей операции лежат в основе качественного лечения пациентов, сокращения частоты осложнений в раннем и отдаленном послеоперационном периодах.

Подробное знание анатомии ликворосодержащих пространств, последовательности движения ликвора в сочетании с современными возможностями МРТ позволяет достаточно точно верифицировать уровень обструкции ликворных путей у большинства пациентов [6–11].

Представленная классификация сравнительно проста, логична и включает весь спектр ИГВ. Она удобна для нейрохирурга, поскольку позволяет рационально планировать инвазивную прехирургическую диагностику и подсказывает выбор метода лечения.

Само наличие гидроцефалии в группах АН1, АН2а, АН2b, АН3 и АН4 не вызывает сомнений. Владея данными нейровизуализации, можно сконцентрироваться на возможности обратимости имеющихся у пациента симптомов, вероятности дальнейшего ухудшения состояния в сопоставлении с риском хирургического лечения. В группе АН5 в силу отсутствия достоверных данных о наличии препятствий движению ликвора наличие гидроцефалии неочевидно, и необходимо проводить дифференциальную диагностику с заболеваниями, сопровождающимися уменьшением объема вещества головного мозга по причинам, не связанным с ликвороциркуляцией.

Уровень обструкции ликворных путей влияет на темпы прогрессии гидроцефалии [5], и это вполне объяснимо. При интравентрикулярной обструкции возможна лишь трансэпендимарная резорбция ликвора [16]. При обструкции на уровне базальных цистерн оказывается возможной резорбция в лимфатические пути по ходу корешков спинномозговых нервов, особенно в положении стоя, когда ликворное давление в спинальных САП максимально. При обструкции только конвексимальных САП в дополнение к этому происходит резорбция ликвора в краниальные лимфатические пути через ситовидную пластинку. А при полностью проходимых САП доступна резорбция в интерстициальные пространства головного мозга, а также в венозные синусы через арахноидальные грануляции и ворсины [17]. Исходя из вышесказанного, мы полагаем, что обсуждаемая классификация дает основания взвешенно подходить к оценке риска прогрессирования симптомов при различных формах гидроцефалии, что влияет на выбор показаний к операции.

Для уточнения показаний к лечению гидроцефалии нередко используют пробы с эвакуацией ликвора [18, 19]. При интравентрикулярной обструктивной гидроцефалии (АН1, АН2а, АН2b) они фактически противопоказаны. В остальных случаях их выполнение возможно по показаниям.

Преобладание интравентрикулярных форм обструкции и цистернальной обструкции в нашем материале можно объяснить не повсеместной доступностью эндоскопического оборудования. В то же время возможность проведения ликворошунтирующих операций гораздо более доступна. В связи с этим пациентов направляли на консультацию в Центр нейрохирургии.

Протокол МРТ-обследования при ИГВ, который мы считаем оптимальным в условиях нашей клиники, представлен в табл. 4.

Таблица 4. Обязательные составляющие протокола магнитно-резонансной томографии (МРТ) у взрослых с идиопатической гидроцефалией

Table 4. Mandatory magnetic resonance imaging (MRT) components in cases of idiopathic hydrocephalus of adults

Режим МРТ MRI mode	Срез изображений, комментарии Image projection, comments
T2	Аксиальные, сагиттальные и коронарные Axial, sagittal and coronal
T2, чувствительный к току ликвора T2 sensitive to CSF pulsing	Сагиттальные и/или коронарные Sagittal and/or coronal
FLAIR	Аксиальные Axial
Магнитно-резонансная цистернография (CISS, FIESTA) Magnetic resonance cisternography (CISS, FIESTA)	Сагиттальные, коронарные Sagittal, coronal
Опционально: фазово-контрастная МРТ с кардиосинхронизацией Optional: phase-contrast MRI with cardiosynchronization	Косой аксиальный срез перпендикулярно водопроводу мозга, количественное исследование параметров движения ликвора в водопроводе мозга (необходимо, если данные, указывающие на обструкцию водопровода мозга, сомнительны) Oblique axial scan perpendicular to the aqueduct, quantitative study of the parameters of the CSF pulsing through the aqueduct (necessary if obstruction of the aqueduct is questionable)

Аксиальные T2- и FLAIR-изображения являются стандартом обзорного исследования, позволяют оценить анатомию мозга, желудочковой системы, САП, наличие перивентрикулярного изменения сигнала от мозга и других изменений в паренхиме мозга и предположить возможный уровень обструкции. Важно иметь изображения T2 в режиме, чувствительном к движению ликвора [7], позволяющем определить проходимость ликворных путей в наиболее узких местах ликворопроводящей системы. При подозрении на обструкцию в области отверстий Монро необходи-

мо выполнение фронтальных срезов, во всех остальных случаях считается обязательным наличие сагиттальных томограмм. Артефакт от пульсации ликвора (flow void) является достоверным признаком проходимости ликворных путей. При гидроцефалии наилучший анатомический режим — МР-цистернография (последовательности CISS, 3d-CISS, FIESTA, сочетающие высокий контраст ликвора и мягких тканей с отсутствием артефактов, обусловленных движением ликвора, позволяют визуализировать тончайшие мембраны в ликворной системе — в ВМ, на выходе из IV желудочка, в цистернах ЗЧЯ) [6, 8, 11, 20]. Более точные данные о движении ликвора в ВМ дают ФК-МРТ [20, 21] и современные методики мечения спинов (time-SLIP) [21–23]. Мы считаем вполне достаточным наличие изображений T2 и МР-цистернографии в соответствующих проекциях для точной диагностики места обструкции, а ФК-МРТ рекомендуем применять при подозрении на неполный стеноз ВМ.

Основной акцент в нейровизуализационной диагностике ИГВ следует делать на количестве расширенных желудочков и выявлении градиента давления между различными отделами ликворной системы мозга. Его обнаружение и возможность устранения являются ключом к выбору оптимальной методики хирургического лечения.

Так, межжелудочковая перегородка является анатомическим образованием, хорошо визуализируемым при МРТ, и ее дислокация в ту или иную сторону свидетельствует о наличии градиента давления между боковыми желудочками в результате обструкции на уровне отверстия Монро с одной стороны. Крыша III желудочка, представленная *tela choroidea* и мозолистым телом, также является хорошо визуализируемой структурой, которая в норме имеет вполне типичное дугообразное положение с изгибом вверх. Понятие нормы позиции этих ориентиров условно, оно не имеет подкрепленных доказательных цифровых значений, однако уплощение этих структур и иногда вентральная инвагинация в просвет III желудочка в сочетании с расширением обоих боковых желудочков свидетельствуют о наличии градиента давления между ними и III желудочком. Это самая редкая форма ИГВ, и особое внимание следует уделять дифференциальной диагностике с объемными новообразованиями области отверстий Монро (в первую очередь, коллоидной кистой).

Дислокация ПММ в вентральном направлении — наиболее известный и распространенный критерий наличия градиента давления между желудочковой системой и цистернами основания ЗЧЯ. Вентральная дислокация ПММ — признак, надежно предсказывающий эффективность эндоскопической тривентрикулостомии. Он достоверно часто встречается при таких формах ИГВ, как АН2а, АН2b и АН3, и не встречается при АН1, АН4, АН5. Сагиттальные изображения в режиме МР-цистернографии позволяют идентифицировать

дополнительные мембраны между скатом и стволом мозга, свидетельствующие в пользу АНЗ-гидроцефалии.

Симптом DESH является своеобразным косвенным маркером градиента давления между различными отделами конвекситальных САП. Он хорошо определяется по коронарным (фронтальным) срезам в режиме T2 и достоверно свидетельствует о АН4-гидроцефалии [12, 13].

Такие признаки, как выраженность САП различной локализации, большой затылочной цистерны, изменений сигнала от мозговой паренхимы, размеры турецкого седла, дистопия миндалин мозжечка в большое затылочное отверстие, индексы желудочковой системы, угол мозолистого тела и комбинация этих параметров, являются дополнительными данными, косвенно свидетельствующими о той или иной степени компенсации внутричерепных объемных взаимоотношений и длительности заболевания, которые должны подкрепляться анамнестическими данными и данными объективного осмотра пациентов.

С нашей точки зрения, основным слабым местом представленной классификации является гетерогенность группы АН5. Сюда могут попасть пациенты: 1) с обобщающейся гидроцефалией различной природы; 2) АНЗ в стадии «компенсации»; 3) энцефалопатией различного происхождения; 4) нейродегенеративными заболеваниями. Надежные рентгенологические критерии, позволяющие различать эти состояния при рутинных МРТ-исследованиях, в настоящее время не установлены.

Классификация гидроцефалии по Blitz применима при ИГВ. Она позволяет рационально планировать дальнейшее обследование и лечение. Сегодня решение об инвазивной диагностике и хирургическом лечении пациентов с ИГВ не следует принимать без качественной МРТ. В противном случае велика вероятность ошибок в диагностике, ненужных и/или опасных хирургических манипуляций, неверного выбора тактики и метода лечения. Протокол МРТ-обследования как минимум должен включать изображения в режиме T2 в необходимых плоскостях, в режиме FLAIR — в аксиальной плоскости, в режиме МР-цистернографии (FIESTA/CISS) — в сагитальной/коронарной плоскостях (см. табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования и статистического анализа данных МР-томограмм были получены как общие признаки, встречающиеся при всех формах гидроцефалии, так и частные, характеризующие конкретные формы заболевания. Представленная классификация проста, логична и обоснована, она хорошо применима в нейрохирургической и рентгенологической практике, позволяет рационально планировать диагностические и лечебные мероприятия у пациентов. Современный протокол МРТ как минимум должен включать изображения в режимах T2 и FIESTA/CISS в необходимых плоскостях, изображения в режиме FLAIR в аксиальной плоскости. Другие дополнительные визуализационные исследования следует проводить для уточнения диагноза в сомнительных случаях.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Mori K., Shimada J., Kurisaka M. et al. Classification of hydrocephalus and outcome of treatment. *Brain Dev* 1995;17(5):338–48. DOI: 10.1016/0387-7604(95)00070-r
2. Reke H.L. The definition and classification of hydrocephalus: a personal recommendation to stimulate debate. *Cerebrospinal Fluid Res* 2008;5:2. DOI: 10.1186/1743-8454-5-2
3. Dandy W.E. Experimental hydrocephalus. *Ann Surg* 1919;70(2):129–42. DOI: 10.1097/0000658-191908000-00001
4. Ransohoff J., Shulman K., Fishman R.A. Hydrocephalus: a review of etiology and treatment. *J Pediatr* 1960;56:499–511. DOI: 10.1016/s0022-3476(60)80193-x
5. Li J., McAllister J.P. 2nd, Shen Y. et al. Communicating hydrocephalus in adult rats with kaolin obstruction of the basal cisterns or the cortical subarachnoid space. *Exp Neurol* 2008;211(2):351–61. DOI: 10.1016/j.expneurol.2007.12.030
6. Aleman J., Jokura H., Higano S. et al. Value of constructive interference in steady-state three-dimensional, Fourier transformation magnetic resonance imaging for the neuroendoscopic treatment of hydrocephalus and intracranial cysts. *Neurosurgery* 2001;48(6):1291–5; discussion 1295–6. DOI: 10.1097/00006123-200106000-00021
7. Greitz D. Radiological assessment of hydrocephalus: new theories and implications for therapy. *Neurosurg Rev* 2004;27(3):145–65; discussion 166–7. DOI: 10.1007/s10143-004-0326-9
8. Laitt R.D., Mallucci C.L., Jaspan T. et al. Constructive interference in steady-state 3D Fourier-transform MRI in the management of hydrocephalus and third ventriculostomy. *Neuroradiology* 1999;41(2):117–23. DOI: 10.1007/s002340050715
9. Dlouhy B.J., Capuano A.W., Madhavan K. et al. Preoperative third ventricular bowing as a predictor of endoscopic third ventriculostomy success. *J Neurosurg Pediatr* 2012;9(2):182–90. DOI: 10.3171/2011.11.PEDS11495
10. Kehrer U., Gliemroth J. Extraventricular intracisternal obstructive hydrocephalus — a hypothesis to explain successful 3rd ventriculostomy in communicating hydrocephalus. *Pediatr Neurosurg* 2003;38(2):98–101. DOI: 10.1159/000068053
11. Dinçer A., Kohan S., Ozek M.M. Is all “communicating” hydrocephalus really communicating? Prospective study on the value of 3D-constructive interference in steady state sequence at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30(10):1898–906. DOI: 10.3174/ajnr.A1726
12. Kitagaki H., Mori E., Ishii K. et al. CSF spaces in idiopathic normal pressure hydrocephalus: morphology and volumetry. *AJNR Am J Neuroradiol* 1998;19(7):1277–84.

13. Hashimoto M., Ishikawa M., Mori E. et al. Diagnosis of idiopathic normal pressure hydrocephalus is supported by MRI-based scheme: a prospective cohort study. *Cerebrospinal Fluid Res* 2010;7:18. DOI: 10.1186/1743-8454-7-18
14. Mori E., Ishikawa M., Kato T. et al. Guidelines for management of idiopathic normal pressure hydrocephalus: second edition. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2012;52(11):775–809. DOI: 10.2176/nmc.52.775
15. 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;29(5):245–9. DOI: 10.1159/000028730
16. Bloch O., Auguste K.I., Manley G.T., Verkman A.S. Accelerated progression of kaolin-induced hydrocephalus in aquaporin-4-deficient mice. *J Cereb Blood Flow Metab* 2006;26(12):1527–37. DOI: 10.1038/sj.jcbfm.9600306
17. Pollay M. The function and structure of the cerebrospinal fluid outflow system. *Cerebrospinal Fluid Res* 2010;7:9. DOI: 10.1186/1743-8454-7-9
18. Relkin N., Marmarou A., Klinge P. et al. Diagnosing idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Neurosurgery* 2005;57(3 Suppl): S4–16; discussion ii–v. DOI: 10.1227/01.neu.0000168185.29659.c5
19. Bergsneider M., Miller C., Vespa P.M., Hu X. Surgical management of adult hydrocephalus. *Neurosurgery* 2008;62(Suppl 2):643–59; discussion 659–60. DOI: 10.1227/01.neu.0000316269.824667.f7
20. Ucar M., Guryildirim M., Tokgoz N. et al. Evaluation of aqueductal patency in patients with hydrocephalus: three-dimensional high-sampling-efficiency technique (SPACE) versus two-dimensional turbo spin echo at 3 Tesla. *Korean J Radiol* 2014;15(6):827–35. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.6.827
21. Luetmer P.H., Huston J., Friedman J.A. et al. Measurement of cerebrospinal fluid flow at the cerebral aqueduct by use of phase-contrast magnetic resonance imaging: technique validation and utility in diagnosing idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Neurosurgery* 2002;50(3):534–43; discussion 543–4. DOI: 10.1097/00006123-200203000-00020
22. Bradley W.G. Jr., Scalzo D., Queralt J. et al. Normal-pressure hydrocephalus: evaluation with cerebrospinal fluid flow measurements at MR imaging. *Radiology* 1996;198(2):523–9. DOI: 10.1148/radiology.198.2.8596861
23. Yamada S., Miyazaki M., Kanazawa H. et al. Visualization of cerebrospinal fluid movement with spin labeling at MR imaging: preliminary results in normal and pathophysiologic conditions. *Radiology* 2008;249(2):644–52. DOI: 10.1148/radiol.2492071985

Вклад авторов

К.В. Шевченко: разработка дизайна исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи;
 В.Н. Шиманский, С.В. Тяншин: разработка дизайна исследования, редактирование текста статьи;
 В.К. Пошатаев, В.В. Карнаухов: сбор данных для анализа;
 М.В. Колычева: сбор данных, редактирование текста статьи;
 К.Д. Соложенцева: сбор и интерпретация данных;
 Ю.В. Струнина: статистическая обработка данных.

Authors' contributions

K.V. Shevchenko: research design development, data collection, analysis and interpretation, article writing;
 V.N. Shimansky, S.V. Tanyashin: research design development, editing of the article;
 V.K. Poshataev, V.V. Karnaukhov: collecting data for analysis;
 M.V. Kolycheva: data collection, editing of the article;
 K.D. Solozhentseva: data collection and interpretation;
 Yu.V. Strunina: statistical data processing.

ORCID авторов / ORCID of authors

К.В. Шевченко / K.V. Shevchenko: <https://orcid.org/0000-0003-3732-6664>
 В.Н. Шиманский / V.N. Shimansky: <https://orcid.org/0000-0002-3816-847X>
 С.В. Тяншин / S.V. Tanyashin: <https://orcid.org/0000-0001-8351-5074>
 В.К. Пошатаев / V.K. Poshataev: <https://orcid.org/0000-0002-3279-3733>
 В.В. Карнаухов / V.V. Karnaukhov: <https://orcid.org/0000-0002-2581-8648>
 М.В. Колычева / M.V. Kolycheva: <https://orcid.org/0000-0002-7741-6616>
 К.Д. Соложенцева / K.D. Solozhentseva: <https://orcid.org/0000-0001-9984-9327>
 Ю.В. Струнина / Yu.V. Strunina: <https://orcid.org/0000-0001-5010-6661>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов. В публикации представлены обезличенные данные пациентов.
Compliance with patient rights and principles of bioethics. The article presents anonymized patient data.

Статья поступила: 12.04.2022. **Принята к публикации:** 13.06.2023.
Article submitted: 12.04.2022. **Accepted for publication:** 13.06.2023.