

УДК 616-089.819

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИКВОРОДИНАМИКИ

*Н. И. Ананьева*

Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт  
им. В. М. Бехтерева, Санкт-Петербург, Россия

ООО «Ramsay Diagnostics Rus», Санкт-Петербург, Россия

Научно-клинический и образовательный центр «Лучевая диагностика и ядерная медицина» института  
высоких медицинских технологий Санкт-Петербургского государственного университета,  
Санкт-Петербург, Россия

## METHODS OF MR MYELOGRAPHY TECHNIQUES IN THE ASSESSMENT OF CEREBRAL FLUID CIRCULATION DISORDERS

*N. I. Ananyeva*

Head of the Department of Diagnostic Radiology, Bekhterev Psychoneurological Institute, St. Petersburg,  
Russia

© Н. И. Ананьева, 2016 г.

Работа посвящена возможностям методов МР-миелографии в исследовании нарушений ликвородинамики с обзором данных литературы и собственных наблюдений, включающих МРТ-обследование 34 пациентов со стенозом водопровода, аномалией Арнольда–Киари и подозрением на ликворею. 34 пациентам была выполнена неинвазивная МР-миелография, у 17 пациентов дополнительно выполнялась МР-миелография с кардиосинхронизацией для анализа и количественной оценки параметров ликворотока. В 2 случаях у пациентов с подозрением на ликворею дополнительно применялась контрастная МР-миелография. Анализ литературы и собственных данных показал, что методы МР-миело- и цистернографии могут успешно заменить инвазивные методики визуализации ликворных пространств головного и спинного мозга. Фазовоконтрастная МРТ эффективна в выявлении степени гидроцефалии и постоперационного контроля, например, при патологии Арнольда–Киари. Сегодня эти методы становятся рутинными и выполняются всем больным с соответствующей патологией ликворной системы. **Ключевые слова:** лучевая диагностика, магнитно-резонансная томография, ликвородинамика, миелография, компьютерная томография, ликворея.

The purpose of this study was to define possibilities of different MR myelography techniques in the assessment of cerebral fluid circulation disorders. Our study includes 34 patients who underwent noninvasive MR myelography. In 17 of these patients we also performed MR myelography with cardiac synchronization for the analysis and quantitative evaluation of CSF circulation parameters in patients with aqueductal stenosis and Arnold-Chiari malformation. In 2 patients with symptoms of intracranial hypotension and suspicion of liquorrhea we additionally performed limited-use invasive technique: contrast-enhanced MR myelography. MR myelography and MR cisternography techniques can effectively replace invasive visualization techniques of cerebrospinal fluid space. Phase contrast MRI can be useful in the evaluation of hydrocephalus grade and postoperative follow-up, for instance in patients with Arnold-Chiari malformation. Nowadays these methods become routine and are performed for all of the patients with appropriate CSF system pathology. The only challenge that sometimes require performing of contrast enhanced MR myelography (MR cisternography) is the need of CSF leak visualization in patients with rhinorrhea and otorrhea. **Key words:** diagnostic radiology, magnetic resonance tomography, liquor dynamics, myelography, computed X-ray tomography, cisternography.

**Введение.** Многие неврологические и нейрохирургические заболевания приводят к изменению ликвородинамики. При этом нередко меняются соотношения между продукцией, циркуляцией, резорбцией ликвора, что может вести к изменению внутричерепного давления, ухудшению качества

жизни больного, появлению неврологической симптоматики [1–5].

В течение многих десятилетий предпринимались попытки изучения ликвородинамики и уточнения причин нарушения на каком-либо из этапов циркуляции ликвора. В XX веке для контрастирования

ликворных пространств головного и спинного мозга выполняли рентгеновскую миелографию и пневмоэнцефалографию, при которых применялся воздух или рентгеновское контрастное вещество, вводимые интратекально. Эти методики позволяли оценить ликворные пространства, выявить зону, в которой происходит затруднение движения ликвора, оценить наличие замедления резорбции ликвора. Но это были инвазивные методики, тяжело переносимые пациентами, нередко сопровождающиеся осложнениями и не всегда дающие адекватные результаты. С появлением рентгеновской компьютерной томографии (КТ) появились методики КТ-миелографии и КТ-цистернографии, по сути являющиеся продолжением методик, применяемых ранее. Они дали возможность более четко выявлять изменения ликвородинамики, в том числе связанные с наличием фистул, ликвореи, спаечных процессов в оболочках и других видов патологии ликворной системы головного и спинного мозга. Надо отметить, что такие диагностические методики также являлись высокоинвазивными, сопряженными с лучевой нагрузкой и высоким риском тяжелых инфекционных и неврологических осложнений [1].

С появлением магнитно-резонансной томографии (МРТ), обладающей высокой возможностью тканевой дифференцировки, в том числе между ликвором и веществом мозга, появилась возможность оценить проходимость субарахноидального пространства головного и спинного мозга, желудочковой системы без интратекального введения контрастного вещества. Для этих целей были предложены новые неинвазивные методики — МР-миелография (МРМГ) и МР-цистернография (МРЦГ), основанные на подавлении сигнала от вещества мозга и усилении сигнала от ликворных пространств. Они основаны на выполнении ряда импульсных последовательностей, таких как T2-ИП с устойчивым состоянием свободной прецессии — SSFP (GE) или PSIF (Siemens), а также сбалансированная T2-ИП с двумя возбуждающими импульсами — FIESTA (GE) или CISS (Siemens), которые обеспечивают более высокий МР-сигнал от ликвора в сравнении с мозговым веществом. При этом в каждом конкретном случае выбор метода исследования ликворной системы для выявления связанной с ней патологии основывается на предварительном диагнозе больного и конкретных клинических задачах.

Долгие годы сложной задачей являлась оценка движения ликвора. Для этих целей использовалась отсроченная визуализация при пневмо-(миело-)графии, в том числе КТ-миелографии, в течение последующих дней после введения воздуха или контрастного веществ. Только с появлением методики фазово-контрастной МРТ с кардиосинхронизацией, основанной на эффектах потока, появилась возможность не только визуализировать движение ликвора, но и количественно оценить основные

параметры ликвородинамики в определенной зоне (краниовертебральный переход, водопровод мозга и т. д.), таких, например, как линейный и объемный ликвороток и т. д. Эта методика появилась в конце 1980-х — начале 1990-х годов. Самые первые данные, полученные с ее помощью, изменили представление о ламинарном однонаправленном движении ликвора. Выяснилось, что ликвор имеет пульсирующее разнонаправленное движение, что во многом обусловлено сердечной деятельностью и зависит от анатомических особенностей ликворосодержащих пространств [1, 6].

Таким образом, накоплен большой объем материала по неинвазивному обследованию пациентов с нарушением ликвородинамики. Однако роль тех или иных методов обследования при этой патологии до конца не ясна.

В связи с этим целью нашей работы явилось проанализировать данные литературы и собственные наблюдения, касающиеся МРТ-методов изучения поражений ликворосодержащих пространств у пациентов с клиническими признаками нарушения ликвородинамики.

#### **Обзор литературы и собственные наблюдения.**

Внутривенное введение препаратов гадолиния давно и широко используется в клинической практике, так как во многих случаях прекрасно помогает в решении сложных диагностических задач: уточнении стадии онкологического заболевания, проведении дифференциальной диагностики опухолевого, воспалительного и других поражений, решении вопроса о хирургическом вмешательстве, выявлении осложнений. Но до сих пор остается открытым вопрос о необходимости использования других способов введения контраста при особых «сложных» случаях — введение интраартикулярно и, в нейрохирургии, интратекально.

Интратекальное введение контрастных веществ было широко распространено в предыдущие годы — введение воздуха (пневмомиелография), а затем контрастных рентгеновских препаратов (миелография и затем КТ-миелография) позволяло решить вопрос о проходимости ликворных пространств при опухолевом и рубцово-спаечном поражении оболочек.

С широким внедрением в клиническую практику МРТ потребность в выполнении инвазивных процедур резко уменьшилась. Хорошая визуализация спинного мозга, корешков, ликворных пространств позволяет в большинстве случаев с успехом решать диагностические задачи.

За последние 10 лет в нашем отделении в 34 случаях выполнялась неинвазивная МР-миелография, а у 17 пациентов дополнительно применялась МР-миелография с кардиосинхронизацией для анализа и количественной оценки параметров ликворотока у больных со стенозом водопровода, аномалией Арнольда—Киари. Среди обследованных пациентов

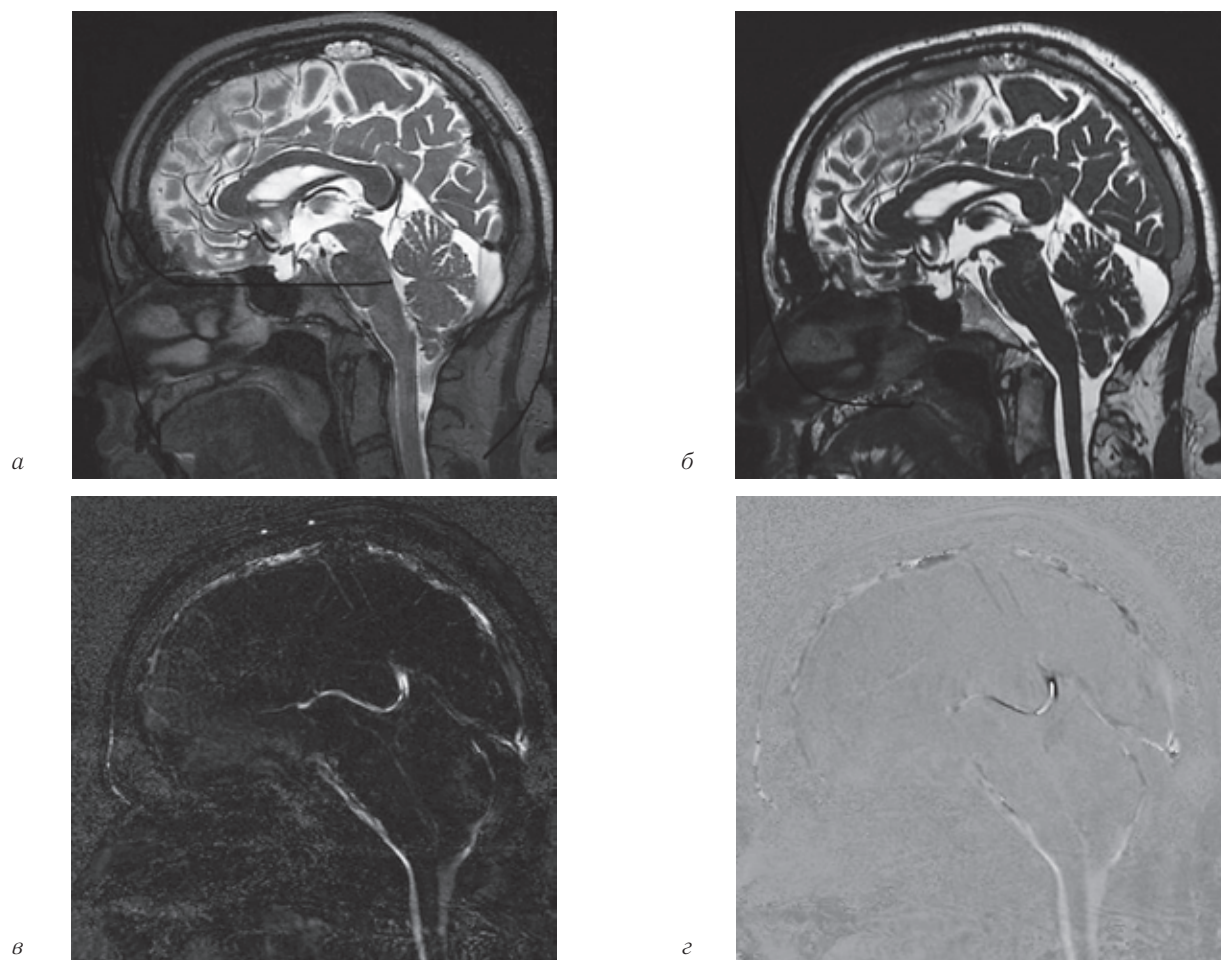
преобладали больные с окклюзионной гидроцефалией (17 пациентов), 5 пациентов имели арахноидальные кисты и постоперационные гигромы, 5 — аномалию Арнольда—Киари. 2 больных с клиническими признаками интракраниальной гипотензии были обследованы для уточнения наличия у них ликвореи.

Всем пациентам была выполнена неинвазивная МР-миелография, однако для уточнения степени нарушения ликвородинамики у 17 пациентов дополнительно проводилась фазово-контрастная МР-миелография. В 2 случаях у пациентов с клинической картиной интракраниальной гипотензии и подозрением на ликворею дополнительно пришлось применить инвазивную методику, имеющую ограниченное применение — контрастную МР-миелографию.

Неинвазивные методики исследования, такие как МР-миелография (МРМГ) и МР-цистернография (МРЦГ), основанные на подавлении сигнала

мические особенности ликворной системы, т. е. только косвенно оценить нарушение проходимости субарахноидального пространства. При проведении МР-миелографии (-цистернографии) на основе последовательности, взвешенной по T2, могут возникнуть трудности дифференцирования слизистой оболочки околоносовых пазух и ликворных скоплений, в обоих случаях имеющих высокий МР-сигнал. В этих случаях для уточнения клинической ситуации необходимо прибегать к выполнению FLAIR-ИП. Связано это с тем, что визуальная последовательность FLAIR демонстрирует более высокий контраст от скопления ликвора в фистуле по отношению к окружающим тканям.

Недостатком метода МР-миелографии также является неспецифичность к изменению со стороны костных структур. В 8–10% наблюдений данные МРЦГ и КТЦГ не позволяют выявлять ликворные фистулы [1]. Во многом это обусловлено высокой



**Рис. 1.** П-ка Ф., 48 лет. Аномалия Арнольда—Киари. Нарушение ликвородинамики на уровне большого затылочного отверстия. МРТ головного мозга: *а* — T2-ВИ, *б* — 3D FIESTA-ВИ, *в* — МР-миелография *г* — фазово-контрастная миелография с кардиосинхронизацией.

от вещества мозга и усилении сигнала от ликворных пространств, обеспечивают более высокий МР-сигнал от ликвора в сравнении с мозговым веществом (рис. 1). Однако опыт использования этих методик показал ряд недочетов и недостатков. В первую очередь, методики позволяют визуализировать анато-

чувствительностью импульсных последовательностей GRE к любым неоднородностям магнитного поля и возникновению артефактов, связанных с гиперпульсацией ликвора, наличием металла и т. д. [7].

Поэтому в настоящее время в научной литературе обсуждается возможность в данных конкретных слу-



чаях, по особым показаниям использовать контрастирование ликворных пространств при МРТ — это так называемая методика контрастной МР-миелоцистернографии [1]. Предлагаемая техника МР-миело- (цистерно-) графии должна включать в себя введение не более 0,3–0,5 мл препарата гадолиния с выполнением разведения изотоническим раствором или собственным ликвором большого или рентгеновским контрастным веществом, облегчающим прохождение контраста. Методика выполняется обязательно в стерильных условиях. Более желательным является люмбальное введение (L<sub>4</sub>–L<sub>5</sub>). Выполняется T1-fatsuppressed 2D или 3D в пределах 1–2 ч после введения. Отсроченное исследование не требуется для спинальной патологии, но нередко необходимо при исследовании интракраниальных ликворных пространств [8, 9].

Однако концентрации гадолиния, вводимого в ликворное пространство для усиления визуализации ликвора, должна быть очень мала (из-за малого удельного веса магнитно-резонансного контрастного вещества (КВ) и повышенной пульсации ликвора на уровне краниовертебрального перехода [10].

Для нивелирования этих эффектов была предложена методика сочетанного применения рентгеноконтрастного препарата с МР-контрастом [1]. Метод одномоментной инвазивной КТ+МР ЦГ с использованием смеси неионного рентгеноконтрастного вещества — 5 мл (из расчета 0,15 мл/кг) и МР-контрастного вещества — 5 мл раствора (из расчета 0,44 мкмоль/кг), которая вводится эндолюмбально с последующим приведением больного в положение Транделенбурга. Далее выполняются FLAIR-ИП и T1 с жироподавлением с толщиной среза 3–5 мм после 15–60-минутной задержки.

В течение 48 ч пациент должен находиться под наблюдением врача для своевременного выявления возможных осложнений.

Вероятно, именно из-за этого до настоящего времени такой способ введения не получил одобрения FDA и в большинстве стран применяется с разрешения локальных комитетов, так как «off-label use» [8].

По данным международных обзоров [6], проанализирована информация по выполнению МР-миелографии 100 пациентам за последние 7 лет в 2 различных центрах США. К сожалению, данных о частоте выполнения этой процедуры в нашей стране найти не удалось, как и о количестве осложнений, возникших при выполнении этой процедуры.

Эта методика помогает в выявлении ликворных фистул основания черепа, в том числе при хронической внутричерепной гипотензии — клиническом синдроме, проявляющемся ортостатической головной болью, тошнотой, рвотой, болью в шее, нарушениями со стороны зрения и слуха, головокружениями [9, 11] (рис. 2).

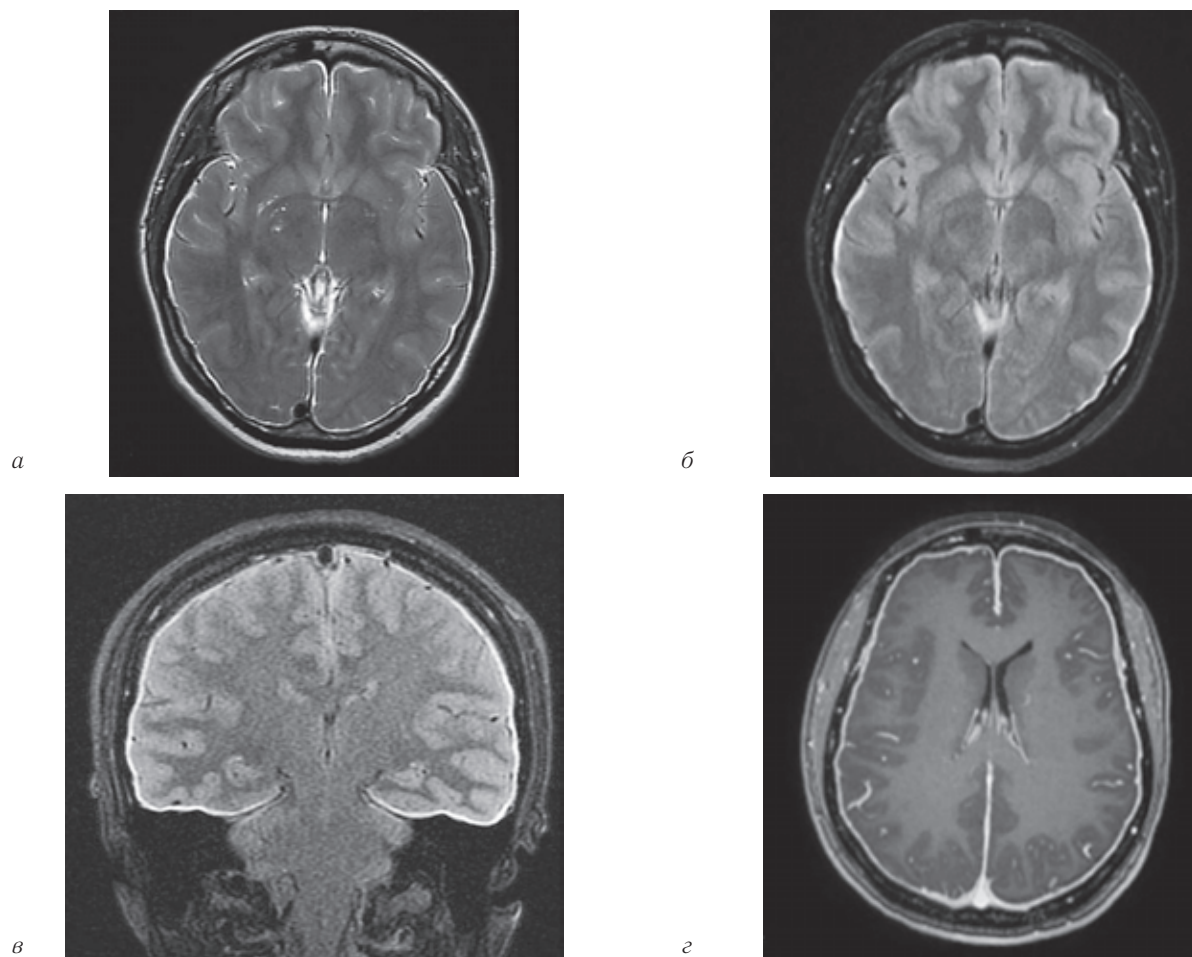
Этот синдром плохо диагностируется, но считается, что его частота составляет до 5 на 100 000 населения [12, 13]. При МРТ у таких пациентов выявляют контрастирование твердой мозговой оболочки, обратимое увеличение гипофиза, смещение миндалин мозжечка и наличие субдуральных скоплений ликвора.

Однако надо отметить: учитывая, что интратекальное введение гадолиния даже в таких небольших дозах может вызвать, по данным литературы [8], головную боль, судороги, транзиторный гемипарез, этот способ введения контрастного вещества является по существу «off-label use» и не одобрен FDA, он должен быть рекомендован только ограниченному количеству больных с подозрением на наличие ликвореи при решении вопроса о необходимости оперативного закрытия фистулы [11].

**Выводы.** Методы МРМГ и МРЦГ могут успешно заменить инвазивные методики визуализации ликворных пространств головного и спинного мозга. ФКМРТ эффективна в выявлении степени гидроцефалии и постоперационного контроля (например, при патологии Арнольда–Киари). Сегодня эти методы становятся рутинными и выполняются всем больным с соответствующей патологией ликворной системы. Спектр диагнозов достаточно широк: все виды гидроцефалии, арахноидальные кисты, опухоли средней линии, располагающиеся в просвете ликворной системы либо вызывающие ее окклюзию, «пустое» седло, различные виды ликвореи, аномалии развития мозга, вентрикулостомы, постоперационные скопления ликвора, конвекситальные гигромы.

Пожалуй, в настоящее время единственный вопрос, который требует в некоторых случаях выполнения контрастной МР-миелографии (МР-цистернографии), — это выявление ликворных фистул, например, при рино- или отоликворее.

Таким образом, современные высокотехнологичные методы исследования мозга все чаще позволяют рентгенологам отказываться от инвазивных методик в пользу более щадящих — неинвазивных. Успешно применяемые для визуализации и изучения ликворной системы неинвазивные методы — магнитно-резонансная цистернография (МРЦГ) и магнитно-резонансная миелография (МРМГ) практически вытеснили из повседневной работы инвазивные — цифровую рентгеновскую миелографию, компьютерно-томографическую миелографию (КТМГ), вентрикулографию и компьютерно-томографическую вентрикуло-кистографию (КТКГ/ВГ). Эти неинвазивные методики обычно дают исчерпывающую диагностическую информацию и в большинстве случаев заменяют необходимость контрастного усиления. При этом мы не должны забывать о возможных осложнениях, которые могут встретиться, особенно при несоблюдении протокола и введении контрастного вещества в больших дозах (без раз-



**Рис. 2.** Пациентка П., 34 года. 10-й день после выполнения люмбальной пункции. МРТ головного мозга: *а* — T2-ВИ; *б* — FLAIR-ИП, аксиальная плоскость; *в* — FLAIR-ИП, корональная плоскость; *г* — T1-ВИ после контрастирования. Повышение сигнала вдоль оболочек на T2- и FLAIR-ИП, усиление сигнала от оболочек после контрастирования.

дения): неврологические нарушения в виде головной боли, тремора, судорог, изредка психических расстройств.

*Данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов Н. В., Корниенко В. Н., Фадеева Л. Н., Мамедов Ф. Р. Современные методы исследования патологии ликворной системы // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. — 2010. — Т. 4, № 1. — С. 34–40.
2. Богомякова О. Б., Шрайбман Л. А., Станкевич Ю. А., Тулунов А. А. Комплексная многоуровневая оценка параметров ликвородинамики у пациентов с аномалией Арнольда–Киари I // *Радиология — практика*. — 2012. — № 6. — С. 4–10.
3. Коршунов А. Е. Физиология ликворной системы и патофизиология гидроцефалии // *Вопросы нейрохирургии*. — 2011. — № 4. — С. 45–50.
4. Пашкова А. А. Магнитно-резонансная томография в качественной и количественной оценке ликвородинамики и состояния вещества головного мозга у больных с гидроцефалией: дис. ... канд. мед. наук. — СПб.: Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2014. — 153 с.
5. Miller G., Krauss W. Myelography: still the gold standard // *AJNR*. — 2003. — Vol. 24. — P. 298.
6. Aydin K., Guven K., Sencer S. et al. MRI cisternography with gadolinium-containing contrast medium: its role? Advantages and limitations in the investigation of rhinorrhea // *Neuroradiol.* — 2004. — Vol. 46. — P. 80.
7. Lisanti C., Carlin C., Banks K. et al. Normal MRI appearance and motion-related phenomena of CSF // *AJR*. — 2007. — Vol. 188. — P. 716–725.
8. Albayram S., Kilic F., Ozer H. et al. Gadolinium-enhanced MR cisternography to evaluate dural leaks in intracranial hypotension syndrome // *Am. J. Neuroradiol.* — 2008. — Vol. 29. — P. 116–121.
9. Chazen J. L., Talbot J. F., Lantos J. E., Dillon W. P. MR myelography for identification of spinal CSF leak in spontaneous intracranial hypotension // *Am. J. Neuroradiol.* — 2014. — Vol. 35. — P. 2007–2012.
10. Haughton V., Iskandar B. Measuring CSF flow in Chiari I malformations // *Neuroradiol. J.* — 2006. — Vol. 19. — P. 427–443.
11. Dillon W. P. Intrathecal gadolinium: its time has come? // *Am. J. Neuroradiol.* — 2008. — Vol. 29. — P. 3–4.

12. Mokri B. Headaches caused by decreased intracranial pressure: diagnosis and management // *Curr. Opin. Neurol.*— 2003.— Vol. 16.— P. 319–326.
13. Schievink W. Spontaneous spinal cerebrospinal fluid leaks and intracranial hypotension // *JAMA.* 2006.— Vol. 295.— P. 2286–2296.

## REFERENCES

1. Arutyunov N. V., Kornienko V. N., Fadeeva L. N., Mamedov F. R. Sovremennye metody issledovaniya patologii likvornoj sistemy, *Annaly klinicheskoy i eksperimentalnoj nevrologii*, 2010, vol. 4, No. 1, pp. 34–40.
2. Bogomyakova O. B., Shrajbman L. A., Stankevich Yu. A., Tulupov A. A. Kompleksnaya mnogourovnevaya ocenka parametrov likvorodinamiki u pacientov s anomaliej Arnolda–Kjari 1, *Radiologiya — praktika*, 2012, No. 6, pp. 4–10.
3. Korshunov A. E. Fiziologiya likvornoj sistemy i patofiziologiya gidrocefalii, *Voprosy nevroxirurgii*, 2011, No. 4, pp. 45–50.
4. Pashkova A. A. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v kachestvennoj i kolichestvennoj ocenke likvorodinamiki i sostoyaniya veshhestva golovnogogo mozga u bolnyx s gidrocefaliej: dis. ... kand. med. nauk, SPb.: *Voенно-медицинская академия им. С. М. Кирова*, 2014, 153 p.
5. Miller G., Krauss W. Myelography: still the gold standard, *AJNR*, 2003, vol. 24, pp. 298.
6. Aydin K., Guven K., Sencer S. et al. MRI cisternography with gadolinium-containing contrast medium: its role? Advantages and limitations in the investigation of rhinorrhea, *Neuroradiol.*, 2004, vol. 46, pp. 80.
7. Lisanti C., Carlin C., Banks K. et al. Normal MRI appearance and motion-related phenomena of CSF, *AJR*, 2007, vol. 188, pp. 716–725.
8. Albayram S., Kilic F., Ozer H. et al. Gadolinium-enhanced MR cisternography to evaluate dural leaks in intracranial hypotension syndrome, *Am. J. Neuroradiol.*, 2008, vol. 29, pp. 116–121.
9. Chazen J. L., Talbott J. F., Lantos J. E., Dillon W. pp. MR myelography for identification of spinal CSF leak in spontaneous intracranial hypotension, *Am. J. Neuroradiol.*, 2014, vol. 35, pp. 2007–2012.
10. Dillon W. P. Intrathecal gadolinium: its time has come? *Am. J. Neuroradiol.*, 2008, vol. 29, pp. 3–4.
11. Haughton V., Iskandar B. Measuring CSF flow in Chiari 1 malformations, *Neuroradiol. J.*, 2006, vol. 19, pp. 427–443.
12. Mokri B. Headaches caused by decreased intracranial pressure: diagnosis and management, *Curr. Opin. Neurol.*, 2003, vol. 16, pp. 319–326.
13. Schievink W. Spontaneous spinal cerebrospinal fluid leaks and intracranial hypotension, *JAMA*, 2006, vol. 295, pp. 2286–2296.

Поступила в редакцию: 18.04.2016 г.

Контакт: Ананьева Наталья Исаевна, [ananieva\\_n@mail.ru](mailto:ananieva_n@mail.ru)

## Сведения об авторе:

Ананьева Наталья Исаевна — доктор медицинских наук, заведующая рентгеновским отделением ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В. М. Бехтерева» Минздрава РФ, главный врач ООО «Ramsay Diagnostics Rus», старший научный сотрудник Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» института высоких медицинских технологий Санкт-Петербургского государственного университета. 192019, Санкт-Петербург, ул. Бехтерева, д. 3. Тел./факс: +7 812 670-02-20, e-mail: [ananieva\\_n@mail.ru](mailto:ananieva_n@mail.ru).

**Открыта подписка на 2-е полугодие 2016 года.**

**Подписные индексы:**

**Агентство «Роспечать» 57991**

**ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177**