

Изучение возможностей неинвазивной оценки повышения внутричерепного давления по данным МРТ на примере пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией

Н.Н. Сидиков¹, О.Б. Богомякова^{2,3}, Ю.А. Станкевич^{2,3}, А.А. Тулупов^{2,3}

¹ Новосибирский государственный университет
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

² Институт «Международный томографический центр» СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3а

³ Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15

Резюме

Современные методы нейровизуализации позволяют разработать подходы для оценки внутричерепного давления как замену «золотому стандарту» инвазивного мониторинга. Цель исследования – изучить возможности применения МР-характеристик для оценки повышения внутричерепного давления у пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией. **Материал и методы.** 1-я группа – 40 пациентов с объемными образованиями головного мозга (ГМ), 2-я группа – 15 больных с сообщающейся гидроцефалией, группа контроля – 36 человек. Выполнена МРТ ГМ с определением диаметра оболочки зрительного нерва (ДОЗН), вертикального размера оптохиазмальной цистерны и гипофиза, извитости ЗН. Пациентам группы 2 провели исследование с использованием фазовоконтрастной МРТ с оценкой скоростных и объемных характеристик потоков крови и ликвора с расчетом индекса интракраниального комплайнса (ИСС). Программа FreeSurfer использовалась для оценки объемов ГМ. **Результаты и их обсуждение.** Выявлено статистически значимое увеличение ДОЗН в группах пациентов при сравнении с группой контроля (на 24 %, $p < 0,05$), уменьшение вертикального размера гипофиза и увеличение вертикального размера оптохиазмальной цистерны ($p < 0,05$), а также снижение ИСС в группе 2 (в 1,7 раза, $p < 0,05$), свидетельствующее о нарушении динамических объемных взаимодействий. Извитость ЗН в группе 1 наблюдалась чаще, чем в других. Обнаружена статистически значимая положительная корреляция между ДОЗН и объемом ГМ у пациентов группы 1 ($r = 0,55$, $p < 0,05$) и отрицательная корреляция между объемом ГМ и ИСС у больных группы 2 ($r = -0,86$, $p < 0,05$). **Заключение.** Исходя из представленных результатов, мы считаем, что сочетанное использование качественных и количественных МР-критериев может расширить диагностические возможности неинвазивной оценки повышенного внутричерепного давления.

Ключевые слова: внутричерепное давление, МРТ, диаметр оболочки зрительного нерва, индекс краниального комплайнса, градиент внутричерепного давления.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность Министерству науки и высшего образования РФ за доступ к МР-оборудованию и содействие в выполнении исследования.

Финансирование. Блок работ по количественной оценке ликвородинамики выполнен при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-11-00264).

Автор для переписки: Богомякова О.Б., e-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

Для цитирования: Сидиков Н.Н., Богомякова О.Б., Станкевич Ю.А., Тулупов А.А. Изучение возможностей неинвазивной оценки повышения внутричерепного давления по данным МРТ на примере пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(1):88–94. doi: 10.18699/SSMJ20240109

Study of the possibilities of non-invasive assessment of increased intracranial pressure according to MRI data on the example of patients with secondary intracranial hypertension

N.N. Sidikov¹, O.B. Bogomyakova^{2,3}, Yu.A. Stankevich^{2,3}, A.A. Tulupov^{2,3}

¹Novosibirsk State University

630090, Novosibirsk, Pirogova st., 2

²International Tomographic Center of SB RAS

630090, Novosibirsk, Institutskaya st., 3a

³Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS

630090, Novosibirsk, Akademika Lavrentieva ave., 15

Abstract

Modern methods of neuroimaging make it possible to develop approaches for assessing intracranial pressure as a replacement for the “gold standard” of invasive monitoring. Aim of the study was to investigate the possibility of using magnetic resonance (MR) characteristics to assess the increase in intracranial pressure in patients with secondary intracranial hypertension. **Material and methods.** Group 1 – 40 patients with brain tumors, group 2 – 15 patients with communicating hydrocephalus, control group – 36 individuals. The patients underwent MRI with measurement and evaluation of the optic nerve sheath diameter (ONSD), the optochiasmatic cistern and the pituitary gland vertical sizes, and tortuosity of the ON. Patients of the 2nd group underwent a phase-contrast MRI with an assessment of the velocity and volumetric characteristics of blood and cerebrospinal fluid flows with the calculation of the intracranial compliance index (ICC). Using the FreeSurfer program, the brain volumes were estimated. **Results and discussion.** A statistically significant increase in ONSD was found in the groups of patients compared with the control group (by 24 %, $p < 0.05$), decrease in the vertical size of the pituitary gland and an increase in the vertical size of the optochiasmatic cistern ($p < 0.05$), as well as ICC lowering in group 2 (by 1.7 times, $p < 0.05$). Tortuosity of ON in group 1 was observed more often than in other groups. A statistically significant positive correlation between ONSD and brain volumes in group 1 ($r = 0.55$, $p < 0.05$) and a negative correlation between brain volumes and ICC in group 2 ($r = -0.86$, $p < 0.05$) has been found. **Conclusions.** Based on the presented results, we believe that the combined use of qualitative and quantitative MRI criteria can expand the diagnostic capabilities of non-invasive assessment of increased intracranial pressure.

Key words: intracranial pressure, magnetic resonance imaging, optic nerve sheath diameter, cranial compliance index, intracranial pressure gradient.

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

Acknowledgments. The team of authors expresses gratitude to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for access to MR equipment and assistance in carrying out the study.

Financing: A block of work on the cerebrospinal fluid flow quantitative assessment was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 22-11-00264).

Correspondence author: Bogomyakova O.B., e-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

Citation: Sidikov N.N., Bogomyakova O.B., Stankevich Yu.A., Tulupov A.A. Study of the possibilities of non-invasive assessment of increased intracranial pressure according to MRI data on the example of patients with secondary intracranial hypertension. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(1):88–94. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240109

Введение

Внутричерепное давление (ВЧД) является важным параметром для оценки клинического состояния пациентов с неврологической и нейрохирургической патологией. Его основными составляющими компонентами являются мозговая ткань, цереброспинальная жидкость (ЦСЖ) и кровь. Согласно учению Монро – Келли, общий объем этих компонентов постоянен. Следовательно, увеличение объема любого из них, а также развитие других патологических процессов (например, кровотечение) должно быть компенсировано уменьшением объема остальных. Подобное равновесие существует до того момента, когда исчерпывается компенсаторный резерв и развивается синдром внутричерепной гипертензии [1]. ВЧД более 20 мм рт. ст. считается патологическим и может являться причиной вторичного

повреждения, что ведет к необратимым структурным изменениям головного мозга (ГМ), поэтому мониторинг ВЧД крайне важен для раннего выявления и лечения его повышения и предотвращения вторичных осложнений [2]. Существуют инвазивные и неинвазивные методики измерения ВЧД. В настоящее время «золотым стандартом» считаются инвазивные методики (введение катетера в мозговую ткань и/или желудочки ГМ), обладающие, однако, рядом таких недостатков, как инфекционные осложнения, внутрижелудочковые, субарахноидальные кровоизлияния, риск возникновения которых увеличивается на 5 % через пять дней после проведения [3, 4].

Появление современных методов нейровизуализации и новых диагностических инструментов привело к разработке множества подходов, которые исследуются на предмет возможности их использования для оценки ВЧД и замены «золотого

стандарта» инвазивного мониторинга. Идея разработки неинвазивного метода измерения внутричерепного давления привлекательна, так как теоретически ожидается, что он позволит избежать осложнений, характерных для инвазивной диагностики, а также будет простым в использовании, точным, надежным, воспроизводимым и недорогим.

Целью данного исследования является изучение возможности применения МР-характеристик для оценки повышения ВЧД у пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией.

Материал и методы

В ходе исследования сформированы две группы пациентов и группа контроля. В первую группу включено 40 человек в возрасте от 20 до 86 лет с клиническими симптомами ВЧД на фоне объемных образований ГМ с развитием у части пациентов обструктивной гидроцефалии, во вторую – 15 больных в возрасте от 19 до 77 лет с сообщаемой гидроцефалией в стадии клинической суб- и декомпенсации, в группу контроля – 36 человек в возрасте от 20 до 71 года. Условиями включения в группу контроля являлось отсутствие патологических структурных изменений ГМ по данным МРТ, отсутствие активных жалоб на момент исследования.

Все обследованные подписали информированное согласие на участие в исследовании, которое проведено в соответствии с этическими стан-

дартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации и одобрено локальным этическим комитетом ФГБУН Институт «Международный томографический центр» СО РАН.

Выполнялось рутинное МР-исследование ГМ, включающее T2-ВИ axi (толщина среза 3 мм, межсрезовый интервал 1 мм), изовоксельную 3D_T1_TFE sag (размер вокселя 1×1×1 мм, межсрезовый интервал 0,5 мм), 3D_FLAIR_SPIR (размер вокселя 1,1×1,1×1,1 мм, межсрезовый интервал 0 мм), DWI-WI axi (с расчетом ADC-card), SWI axi для оценки структуры ГМ, а также бесконтрастные МР-ангиографию (3D_TOF axi) и МР-миелографию (MYUR sag). Глаза обследуемого во время проведения процедур были закрыты во избежание двигательных артефактов. Работа выполнена на высокопольном МР-томографе Ingenia (Philips, США) с напряженностью магнитного поля 3,0 Тл, использовалась головная SENSE-катушка.

Всем пациентам проводилась оценка МР-критериев, связанных с повышенным внутричерепным давлением, а именно: диаметр оболочки зрительного нерва (ДОЗН, расстояние между внешними краями видимых оболочек, покрывающих зрительный нерв, на аксиальных T2-ВИ, на расстоянии 3 и 7 мм от склеры (рис. 1, а)), извитость зрительного нерва, выпячивание его сосочка в аксиальном срезе ГМ, вертикальный размер оптохиазмальной цистерны во фронтальном срезе ГМ, вертикальный размер гипофиза по сре-

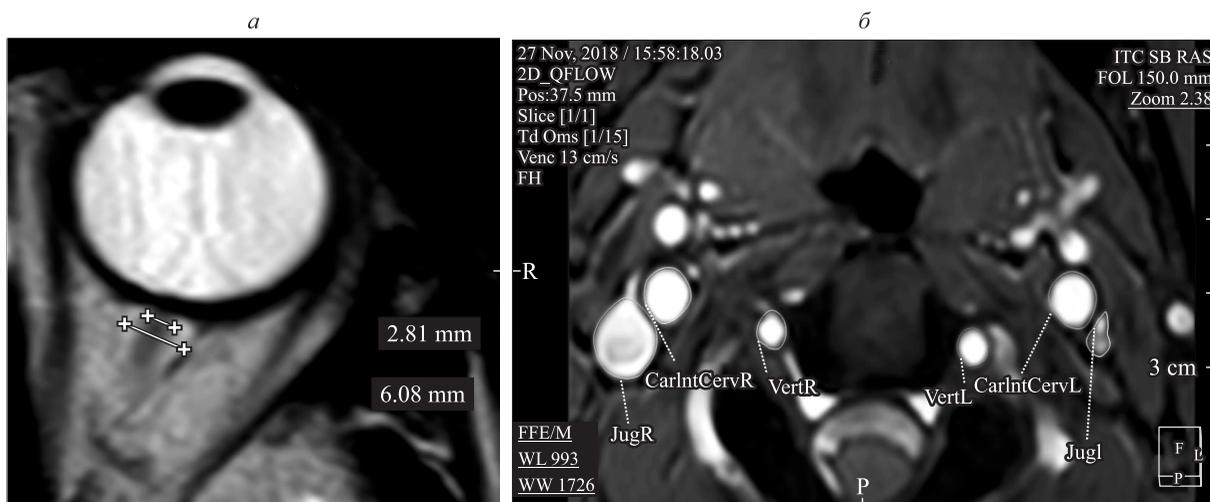


Рис. 1. Измерение ДОЗН на аксиальном срезе на T2-ВИ (а); 2D_QFlow, FFE/M, аксиальный срез (б). Уровень C2-C3 шейного сегмента. Выделенные вручную области интереса: CarIntCervR и L – правая и левая внутренние сонные артерии, VertR и L – правая и левая позвоночные артерии, JugR и L – правая и левая внутренние яремные вены

Fig. 1. Measurement of the diameter of the optic nerve sheath in the axial section on T2-WI (a); 2D_QFlow, FFE/M, axial slice at C2-C3 cervical level (б). Manually allocated regions of interest: CarIntCervR and L – right and left internal carotid arteries, VertR and L – right and left vertebral arteries, JugR and L – right and left jugular veins

динному сагиттальному срезу ГМ, на уровне воронки, наиболее перпендикулярно дну турецкого седла. Также существуют и другие МР-критерии повышенного ВЧД, которые обсуждаются в качестве дополнительных/возможных диагностических критериев для пациентов с идиопатической внутричерепной гипертензией, такие как стеноз поперечных синусов, эктопия миндалин мозжечка, наличие менингоцеле и менингоэнцефалоцеле [5, 6]. Однако в настоящем исследовании мы не проводили прицельный анализ этих критериев в силу особенностей сформированных групп пациентов.

Пациентам из второй группы и добровольцам группы контроля дополнительно проводили исследование с использованием методики фазового контраста (quantitative flow) с кардиосинхронизацией по ЭКГ, с возможностью количественной оценки скоростных характеристик потоков крови и ликвора. Измеряли объемную скорость потока ликвора в субарахноидальном пространстве на уровне краниовертебрального перехода, а также объемную скорость потока артериальной крови по внутренним сонным и позвоночным артериям (рис. 1, б).

Путем интегрирования объемной скорости по времени рассчитали систолические объемы оттекающего ликвора и притекающей к ГМ артериальной крови, затем – индекс краниального комплайенса (index of cranial compliance, ICC) как отношение этих объемов:

$$ICC = Sv_{liq}(flush) / SV_{tCBFa}(sys),$$

где $Sv_{liq}(flush)$ – объем оттекающего ликвора в систолу на уровне краниовертебрального перехода; $SV_{tCBFa}(sys)$ – объем притекающей крови в систолу по четырем магистральным сосудам (правая и левая внутренние сонные и позвоночные артерии). Данный показатель отражает динамические объемные взаимодействия жидких сред, имеет линейную зависимость от градиента давления и характеризует способность мозговой ткани к расширению во время притока крови и оттеснению своим увеличивающимся объемом равного объема ликвора из субарахноидального пространства. Чем лучше выражена подобная компенсаторная способность ГМ, тем больший объем крови он потенциально может в себя вместить, тем меньше риск гипоперфузии у пациента.

Для всех обследованных произведен расчет объемов ГМ (объем серого, белого вещества и ликвора) с помощью программы FreeSurfer – набора инструментов для реконструкции и анализа поверхностных и внутренних структур ГМ, который анализирует изовоксельные трехмерные T1-VI и по интенсивности сигнала сегментирует их

на белое, серое вещество, ликвор и считает объем для каждого из них.

Нормальность данных проверяли с помощью тестов Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Оценка достоверности различий между соответствующими показателями для разных групп добровольцев проведена с применением t-критерия Стьюдента для независимых выборок, между величинами ICC – с применением U-критерия Манна – Уитни, поскольку распределение значений внутри выборки не соответствовало нормальному. Использовали t-критерий Пирсона для оценки корреляционных взаимосвязей. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05.

Результаты

В ходе исследования выявлены следующие изменения. ДОЗН кзади на 3 мм от внутренней поверхности склеры у пациентов группы 1 ($n = 40$) и группы 2 ($n = 15$) статистически значимо отличался при сравнении с группой контроля ($n = 36$) (соответственно $5,7 \pm 0,15$, $5,2 \pm 0,34$ и $4,6 \pm 0,12$ мм). Аналогичная направленность наблюдалась для ДОЗН кзади на 7 мм от внутренней поверхности склеры (соответственно $4,8 \pm 0,13$, $4,5 \pm 0,27$ и $4,0 \pm 0,11$ мм), различия также статистически значимы. Вертикальный размер гипофиза у группы 1 ($n = 40$) составил $5,0 \pm 0,42$ мм, у группы 2 ($n = 15$) – $5,0 \pm 0,42$ мм. При сравнении этих двух групп с группой контроля ($n = 36$), у которой вертикальный размер гипофиза равнялся $6,0 \pm 0,36$ мм, разница была статистически значимой ($p < 0,05$). Вертикальный размер оптохиазмальной цистерны у пациентов группы 1 ($n = 40$) и группы 2 ($n = 15$) был достоверно больше, чем в группе контроля ($n = 36$) (соответственно $6,3 \pm 0,53$, $6,0 \pm 0,76$ и $4,8 \pm 0,35$ мм).

При проведении корреляционного анализа между ДОЗН и объемом ГМ у пациентов группы 1 выявлена прямая положительная взаимосвязь между параметрами, линейный коэффициент корреляции Пирсона составил $0,549$ ($p < 0,05$) (рис. 2, а). Извитость ЗН в группе 1 ($n = 40$) наблюдалась в 42,5 % случаев (17 больных), в группе 2 ($n = 15$) – в 13,3 % (2 пациента), в группе контроля ($n = 36$) – в 5,6 % (2 человека). Выпячивание сосочка ЗН в группе 1 ($n = 40$) отмечалось в 2,5 % случаев (один пациент), в группе 2 и в группе контроля не выявлено. Обнаружено достоверное снижение ICC у пациентов группы 2 с суб- и декомпенсированной сообщающейся гидроцефалией в 1,7 раза при сравнении с группой контроля ($p < 0,05$) (рис. 3). Линейный коэффициент корреляции

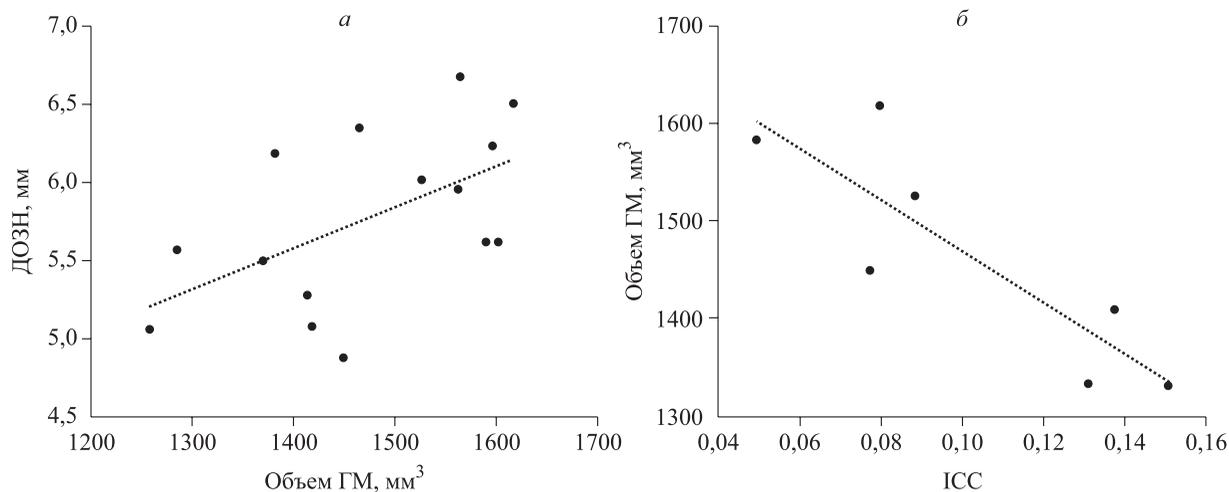


Рис. 2. Корреляция между объемом ГМ и ДОЗН (а), ИСС (б)
Fig. 2. Correlation between brain volume and optic nerve sheath diameter (a), ICC (b)

ляции Пирсона между ИСС и объемом ГМ у лиц группы 2 составил $-0,856$ ($p < 0,05$) (см. рис. 2, б).

Обсуждение

Оболочка ЗН охватывает всю его длину до глазного яблока, является продолжением оболочек ГМ и, следовательно, имеет такое же строение, а пространство между ними заполнено жидкостным компонентом, аналогичным находящемуся в субарахноидальном пространстве. Таким образом, оболочка ЗН испытывает такие же изменения давления, как и внутричерепной компартмент. Внутриглазничная часть, а точнее ретробульбарный сегмент оболочки, наиболее подвержена изменениям в виде расширения ликворного пространства, задняя часть – в меньшей степени, так как происходит сращение всех оболочек, что приводит к неярко выраженному расширению [5].

Мы обнаружили статистически значимое увеличение ДОЗН у пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией на фоне объемных образований ГМ и у больных с сообщающейся гидроцефалией при сравнении со здоровыми лицами, а также получили положительную корреляционную взаимосвязь между ДОЗН и объемом ГМ, наличие которой позволяет предполагать, что на основании изменений ДОЗН можно косвенно судить об изменениях объема ГМ.

«Пустое турецкое седло» – наиболее частая находка у пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией, этот термин характеризует частичное или полное заполнение ликвором турецкого седла за счет увеличения вертикального размера оптохиазмальной цистерны, что, по данным ряда авторов, является биомаркером последствий развития гипертензионно-отечного синдрома [5,

7]. Длительные передающиеся пульсации ЦСЖ вследствие увеличения оптохиазмальной цистерны приводят к ремоделированию турецкого седла и уплощению гипофиза, начиная от незначительной верхней вогнутости последнего и заканчивая его очевидным отсутствием, следовательно, снижению вертикального размера железы [8]. У пациентов с вторичной внутричерепной гипертензией мы обнаружили статистически значимое уплощение гипофиза (уменьшение вертикального размера) и увеличение вертикального размера оптохиазмальной цистерны при сравнении с группой контроля.

В своей работе J. Hoffmann et al. оценивали и сравнивали установленные признаки идиопатической внутричерепной гипертензии (ИВГ) с помощью МРТ. В исследовании участвовали

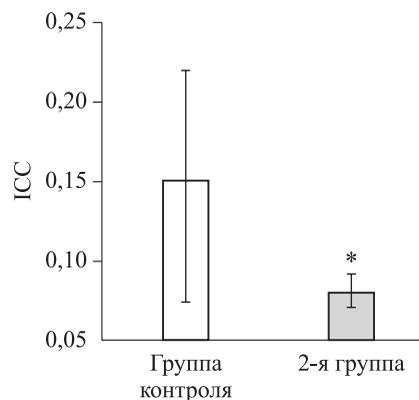


Рис. 3. Величина ИСС у пациентов с сообщающейся гидроцефалией и лиц группы контроля; * – отличие от величины показателя группы контроля статистически значимо при $p < 0,05$

Fig. 3. ICC value in the group of patients with communicating hydrocephalus and the control group; * – $p < 0.05$ compared to control

25 пациентов с ИВГ, а также группа контроля. У каждого пациента оценивали МР-признаки ИВГ, такие как ДОЗН и вертикальный размер гипофиза. Авторы пришли к выводу, что при ИВГ наблюдается увеличение ДОЗН и снижение вертикально размера гипофиза при сравнении с группой контроля. Таким образом, изменения конфигурации гипофиза и ДОЗН были определены как надежные диагностические признаки ИВГ [9]. I. Çankaya et al. с помощью МРТ установили, что ДОЗН у пациентов с ИВГ ($n = 35$) достоверно больше, чем в группе контроля, при переднем и заднем измерениях ($p < 0,05$), в то время как высота гипофиза не изменена [5].

Фиксация ЗН в проксимальной и дистальной точках и повышение давления ЦСЖ в его оболочке приводят к извитости нерва, в результате чего он выглядит «перегнутым». Обнаружение извитости зависит от толщины и ориентации среза МРТ. Более специфичным признаком повышенного ВЧД является горизонтальная извитость, которая, однако, встречается реже, чем вертикальная. Последняя часто сопровождается «признаком мазка», когда середина зрительного нерва покрыта «мазком» орбитального жира [10].

Считается, что сосочек ЗН является местом, наиболее уязвимым к воздействию повышенного давления ЦСЖ в оболочке ЗН. Обычно у здоровых лиц он выглядит как плоская область в задней части склеры, но при повышении ВЧД наблюдается его выпячивание [10]. М.С. Brodsky et al. обнаружили, что у 40 % пациентов с ИВГ была извитость зрительного нерва, а у 30 % пациентов было выпячивание зрительного сосочка [11]. В нашем исследовании извитость ЗН наиболее часто встречалась у больных группы 1 с повышенным ВЧД на фоне объемных образований.

Циркуляция спинномозговой жидкости обеспечивается пульсирующим потоком, что приводит к ее эффективному перемешиванию. Этот поток создается переменным градиентом давления, который является следствием систолического расширения внутричерепных артерий, вызывающего изгнание ЦСЖ в податливое и способное к сокращению спинное субарахноидальное пространство. Внутричерепную динамику можно рассматривать как взаимодействие между пространственными требованиями четырех основных компонентов: артериальной крови, капиллярной крови (объем ГМ), венозной крови и ЦСЖ [12].

Артериальный кровоток имеет пульсирующий характер, но для ГМ требуется неппульсирующий непрерывный кровоток. Первый, кто описал устранение внутричерепных артериальных пульсаций за счет перемещения эквивалентного объема ЦСЖ

и венозной крови из полости черепа, был D. Greitz [12]. M. Egnor et al., основываясь на работе D. Greitz, смоделировали динамику сосудистого дерева ГМ и ликворных пространств и показали, что артериальная и ликворная пульсация через большое затылочное отверстие очень тесно связаны, а колебания ЦСЖ находятся в состоянии резонанса с артериальной пульсацией. Это состояние резонанса не является заурядным и требует почти точного согласования упругой и инерционной реактивности краниоспинальной системы [13].

Для пациентов с декомпенсированной гидроцефалией мы оценили ИСС, который отражает динамические объемные взаимодействия пульсирующего артериального притока и ликворного оттока в систолу на уровне краниовертебрального перехода. При сравнении с группой контроля получили статистически значимое снижение ИСС в 1,7 раза, что говорит о нарушении согласования упругой и инерционной реактивности краниоспинальной системы и может быть связано с длительностью гидроцефалии, что в конечном итоге приводит к повышению жесткости паренхимы, уменьшению эластичности и податливости вещества ГМ. У данной группы пациентов ГМ не может адекватно принять систолическую пульсирующую волну артериального притока и вытеснить ликвор, что отражается снижением ИСС.

Мы предполагаем, что вероятность повышения ИСС у пациентов с остро возникшей гидроцефалией высока, так как в данном случае ГМ стремился бы вытеснить излишний ликвор с артериальным притоком для предотвращения резкого повышения ВЧД. На основании ИСС можно косвенно судить об изменении ВЧД ввиду того, что он имеет линейную зависимость от градиента ВЧД, который, в свою очередь, прямо связан с величиной ВЧД.

Также мы обнаружили отрицательную корреляционную взаимосвязь между ИСС и объемом ГМ у пациентов с суб- и декомпенсированной сообщающейся гидроцефалией: с повышением интракраниального объема ИСС снижался, что показывает взаимосвязь между этими параметрами.

Заключение

Исходя из представленных результатов, мы считаем, что сочетанное использование качественных и количественных МР-критериев, а также анализ компонентов интракраниального объема (в том числе объемных показателей мозговой гемо- и ликвородинамики) могут расширить диагностические возможности неинвазивной оценки повышения ВЧД. В перспективе необходимо расширение группы пациентов с активной/деком-

пенсированной гидроцефалией, а также оценка величины ИСС у пациентов с объемными образованиями в сравнении со здоровыми людьми.

Список литературы / References

1. Evensen K.B., Eide P.K. Measuring intracranial pressure by invasive, less invasive or non-invasive means: limitations and avenues for improvement. *Fluids Barriers CNS*. 2020;17(1):34–65. doi: 10.1186/s12987-020-00195-3
2. Khan M.N., Shallwani H., Khan M.U., Shamim M.S. Noninvasive monitoring intracranial pressure: A review of available modalities. *Surg. Neurol. Int.* 2017;8:51–61. doi: 10.4103/sni.sni_403_16
3. Raffiz M., Abdullah J.M. Optic nerve sheath diameter measurement: a means of detecting raised ICP in adult traumatic and non-traumatic neurosurgical patients. *Am. J. Emerg. Med.* 2017;35(1):150–153. doi: 10.1016/j.ajem.2016.09.044
4. Harary M., Dolmans R.G.F., Gormley W.B. Intracranial pressure monitoring-review and avenues for development. *Sensors (Basel)*. 2018;18(2):465–479. doi: 10.3390/s18020465
5. Çankaya I., Muluk N.B., Burulday V., Bilgili M.Y.K., Özdemir A. Noticable findings in cranial MRI of the patients with idiopathic intracranial hypertension. *Am. J. Rhinol. Allergy*. 2022;36(4):415–422. doi: 10.1177/19458924211069213
6. Juhász J., Hensler J., Jansen O. MRI-findings in idiopathic intracranial hypertension (Pseudotumor cerebri). *RoFo*. 2021;193(11):1269–1276. doi: 10.1055/a-1447-0264
7. Летыгин А.Ю., Бородин Ю.И. Оценка синдрома внутричерепной гипертензии по данным

сверхвысокопольной магнитно-резонансной томографии. *Сиб. науч. мед. ж.* 2018;38(4):49–64. doi: 10.15372/SSMJ20180407

Letyagin A.Yu., Borodin Yu.I. Evaluation of intracranial hypertension on data of ultra-high-field MRI. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2018;38(4):49–64. [in Russian] doi: 10.15372/SSMJ20180407

8. Saindane A.M., Lim P.P., Aiken A., Chen Z., Hudgins P.A. Factors determining the clinical significance of an “empty” sella turcica. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2013;200(5):1125–1131. doi: 10.2214/AJR.12.9013

9. Hoffmann J., Huppertz H.J., Schmidt C., Kunte H., Harms L., Klingebiel R., Wiener E. Morphometric and volumetric MRI changes in idiopathic intracranial hypertension. *Cephalalgia*. 2013;33(13):1075–1084. doi: 10.1177/0333102413484095

10. Passi N., Degan A.J., Levy L.M. MR imaging of papilledema and visual pathways: effects of increased intracranial pressure and pathophysiologic mechanisms. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2013;34(5):919–924. doi: 10.3174/ajnr.A3022

11. Brodsky M.C., Vaphiades M. Magnetic resonance imaging in pseudotumor cerebri. *Ophthalmology*. 1998;105(9):1686–1693. doi: 10.1016/S0161-6420(98)99039-X

12. Greitz D. Cerebrospinal fluid circulation and associated intracranial dynamics. A radiologic investigation using MR imaging and radionuclide cisternography. *Acta Radiol. Suppl.* 1993;386:1–23.

13. Egnor M., Zheng L., Rosiello A., Gutman F., Davis R. A model of pulsations in communicating hydrocephalus. *Pediatr. Neurosurg.* 2002;36(6):281–303. doi: 10.1159/000063533

Сведения об авторах:

Сидиков Нурулло Нумонович, ORCID: 0009-0007-0800-5841, e-mail: n.sidikov@g.nsu.ru

Богомякова Ольга Борисовна, к.м.н., ORCID: 0000-0002-8880-100X, e-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

Станкевич Юлия Александровна, к.м.н., ORCID: 0000-0002-7959-5160, e-mail: stankevich@tomo.nsc.ru

Тулупов Андрей Александрович, д.м.н., проф., чл.-корр. РАН, ORCID: 0000-0002-1277-4113, e-mail: taa@tomo.nsc.ru

Information about the authors:

Nurullo N. Sidikov, ORCID: 0009-0007-0800-5841, e-mail: n.sidikov@g.nsu.ru

Olga B. Bogomyakova, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-8880-100X, e-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

Yuliya A. Stankevich, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-7959-5160, e-mail: stankevich@tomo.nsc.ru

Andrey A. Tulupov, doctor of medical sciences, professor, corresponding member of the RAS, ORCID: 0000-0002-1277-4113, e-mail: taa@tomo.nsc.ru

Поступила в редакцию 15.09.2023

После доработки 20.11.2023

Принята к публикации 29.11.2023

Received 15.09.2023

Revision received 20.11.2023

Accepted 29.11.2023