

Применение фазово-контрастной магнитно-резонансной томографии в количественной оценке ликвородинамики у пациентов с сообщающейся гидроцефалией

О.Б. Богомякова¹, врач-рентгенолог, мл. науч. сотр.;

Ю.А. Станкевич¹, врач-рентгенолог, мл. науч. сотр.;

Н.А. Месропян^{1, 2}, студентка;

Л.А. Шрайбман¹, врач-рентгенолог, мл. науч. сотр.;

А.А. Тулупов^{1, 2}, д. м. н., гл. науч. сотр. МТЦ, зам. декана медицинского факультета, зам. директора Центра постдипломного медицинского образования, доцент кафедры фундаментальной медицины ННИГУ

¹ ФГБУН Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук,

ул. Институтская, 3а, Новосибирск, 630090, Российская Федерация;

² ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Российская Федерация

Use of phase-contrast magnetic resonance imaging to quantify cerebrospinal fluid dynamics in patients with communicating hydrocephalus

O.B. Bogomyakova¹, Radiologist, Junior Research Associate;

Yu.A. Stankevich¹, Radiologist, Junior Research Associate;

N.A. Mesropyan^{1, 2}, Student;

L.A. Shraybman¹, Radiologist, Junior Research Associate;

A.A. Tulupov^{1, 2}, MD, PhD, DSc, Chief Research Associate of ITC, Deputy Dean of the Faculty of Medicine, Deputy Director of the Center of Postgraduate Medical Education, Associate Professor of Chair of Fundamental Medicine of NSU

¹ Institute International Tomography Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya, 3a, Novosibirsk, 630090, Russian Federation;

² Novosibirsk State University, ul. Pirogova, 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Цель исследования – определить различия скоростных параметров потока ликвора у пациентов с разной степенью выраженности сообщающейся гидроцефалии (СГ) по сравнению с группой здоровых добровольцев без гидродинамических расстройств.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 27 пациентов с СГ (17 пациентов с индексом Эванса 0,31 и 10 пациентов с индексом Эванса 0,46) и 62 здоровых добровольца. Были определены средняя, объемная и пиковая скорости потока на различных интракраниальных уровнях.

Результаты. Анализ различий между средними значениями показал, что у пациентов с СГ наблюдается прогрессирующее нарушение оттока спинномозговой жидкости из полости черепа, зависящее от степени выраженности расширения желудочковой системы и, вероятно, связанное с нарушением его обратного всасывания. Эти изменения могут объяснять клинические симптомы, имеющиеся у пациентов, а также служить диагностическими критериями.

Заключение. Исследование показало возможности использования фазово-контрастной магнитно-резонансной томографии в оценке количественных параметров потока ликвора в условиях нормы и у пациентов с разной степенью выраженности

Objective: to determine differences in cerebrospinal fluid (CSF) flow velocities in patients with varying degrees of communicating hydrocephalus (CH) versus a group of healthy volunteers without hydrodynamic disorders.

Material and methods. The investigation enrolled 27 CH patients (17 and 10 patients with an Evans index of 0.31 and 0.46, respectively) and 62 healthy volunteers. Average, volumetric, and peak flow velocities were determined at different intracranial levels.

Results. Analysis of differences between the mean values indicated that the patients with CH were observed to have progressive cranial cavity CSF outflow obstruction that depended on the degree of dilation of the ventricular system and, probably, on impaired CSF reabsorption. These changes can provide an explanation for the clinical symptoms present in the patients and also serve as diagnostic criteria.

Conclusion. The investigation showed that phase-contrast magnetic resonance imaging might be used to estimate the quantitative indicators of CSF in health and in varying degrees of CH.

The velocity characteristics of antegrade and retrograde CSF flows are significantly different in health and in disease, which may

сообщающейся гидроцефалии. Скоростные характеристики антеградного и ретроградного потоков ликвора достоверно отличаются в условиях нормы и патологии, что может быть актуально для неврологов и нейрохирургов при планировании терапевтического и хирургического лечения.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; центральная нервная система; цереброспинальная жидкость; сообщающаяся гидроцефалия.

Для цитирования: Богомякова О.Б., Станкевич Ю.А., Месропян Н.А., Шрайбман Л.А., Тулупов А.А. Применение фазово-контрастной магнитно-резонансной томографии в количественной оценке ликвородинамики у пациентов с сообщающейся гидроцефалией. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97 (1): 20–27. DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-20-27

Для корреспонденции: Богомякова Ольга Борисовна; E-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

be relevant to neurologists and neurosurgeons when planning therapy and surgery options.

Index terms: magnetic resonance imaging; central nervous system; cerebrospinal fluid; communicating hydrocephalus.

For citation: Bogomyakova O.B., Stankevich Yu.A., Mesropyan N.A., Shraybman L.A., Tulupov A.A. Use of phase-contrast magnetic resonance imaging to quantify cerebrospinal fluid dynamics in patients with communicating hydrocephalus. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Journal of Roentgenology and Radiology, Russian journal)*. 2016; 97 (1): 20–27 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-20-27

For correspondence: Olga B. Bogomyakova; E-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru

Information about authors:

Bogomyakova O.B., <http://orcid.org/0000-0002-8880-100X>

Stankevich Yu.A., <http://orcid.org/0000-0002-7959-5160>

Mesropyan N.A., <http://orcid.org/0000-0002-5871-3965>

Tulupov A.A., <http://orcid.org/0000-0002-1277-4113>

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

Funding. The study was supported by Grant of the Russian Science Foundation (project № 14-35-00020).

Received 07 December 2015

Accepted 31 December 2015

Введение

Гидроцефалия – это избыточное накопление спинномозговой жидкости в ликворных пространствах головного мозга, возникающее в результате дисбаланса ее продукции и резорбции, которое может приводить к структурному повреждению ткани головного мозга.

Большая часть исследований в области гидроцефалии направлена на изучение нормотензивной гидроцефалии (НТГ). Эта форма была впервые описана S. Nakim [1] в 1964 г. НТГ характеризуется как гидроцефалия у пожилых пациентов (средний возраст 70–75 лет) с клинической триадой: нарушение походки, слабоумие и недержание мочи. Описания клинических случаев посвящены преимущественно пациентам с идиопатической НТГ (то есть без известной причины), такой как субарахноидальное кровоизлияние или менингит [2].

Однако при этой патологии уже присутствует выраженная клиническая симптоматика, а сама нормотензивная гидроцефалия является вариантом сообщающейся гидроцефалии. Поэтому основным направлением нашей работы было изучение изменения скоростных параметров ликвородинамики у пациентов с раз-

ной степенью выраженности гидроцефалии, чтобы в дальнейшем определить диагностические критерии и, вероятно, прогностические факторы, при которых можно предположить прогрессирование расстройств ликвороциркуляции и развитие или ухудшение клинической симптоматики.

Также необходимо более четкое понимание количественных аспектов расстройства гидродинамики цереброспинальной жидкости и его структурных корреляторов, чтобы более точно разобраться с номенклатурой гидроцефалии (в том числе и нормотензивной), улучшить точность диагностики и адаптировать лечение в зависимости от степени гидродинамических расстройств [3–6].

Несмотря на то что за последние десятилетия существенно расширились наши познания о спинномозговой жидкости, есть еще не до конца выясненные вопросы физиологии и патологии ликвородинамики. Большинство диагностических методов сопряжено с определенными техническими сложностями, поэтому до сих пор остаются вопросы, касающиеся надежности диагностики пациентов с нарушениями движения ликвора. Кроме того, поскольку гидродинамические проблемы оцениваются и анали-

зируются преимущественно в статическом режиме, это создает определенные сложности для улучшения диагностики и лечения.

Именно поэтому целью нашей работы стало изучение количественных характеристик ликвородинамики в области головы и шеи у пациентов с разной степенью выраженности сообщающейся гидроцефалии с использованием МРТ-методики количественной оценки движения ликвора (Quantitative Flow).

Материал и методы

С целью изучения динамических характеристик движения ликвора, а также для оценки морфометрических параметров ликворосодержащих пространств в области головы и шеи была проведена МРТ у 89 человек. Все пациенты разделены на две группы: здоровые испытуемые – 62 человека (без неврологических нарушений в анамнезе и неврологическом статусе, без МР-признаков нарушения церебральной гемодинамики и ликвороциркуляции, а также без МР-данных объемного или очагового поражения тканей головного мозга) и пациенты с сообщающейся гидроцефалией (СПЦФ) – 27 человек. Критерием отбора являлось наличие внутренней неокклюзионной

гидроцефалии разной степени выраженности. Ориентиром для отбора пациентов в данную группу были увеличенные размеры желудочковой системы: III желудочек больше 6 мм (поперечный размер), ширина тел боковых желудочков больше 10 мм, ширина задних рогов боковых желудочков больше 10 мм. Для оценки степени выраженности гидроцефалии у всех пациентов определяли переднероговой индекс Эванса: отношение максимального расстояния между наружными стенками передних рогов боковых желудочков к максимальному битемпоральному диаметру черепа (рис. 1) [7]. Нормальным значением считается индекс до 0,29–0,30; индекс в группе пациентов был больше 0,31. Возраст всех обследуемых варьировал от 15 до 63 лет (средний возраст в группе контроля составил $33,31 \pm 3,16$ года, в группе пациентов – $37,29 \pm 5,02$ года). Во всех случаях исследование начинали с рутинной МРТ головы и области шеи, а затем переходили к эксперименту.

Процедура обследования здоровых лиц с целью получения необходимого материала всегда начиналась с беседы, в ходе которой волонтер подробно знакомился с предстоящей ему программой обследования и значимостью полученных результатов. Привлечение к обследованию проводилось в строгом соответствии с международными требованиями, которые включают в себя информированность обследуемого, его согласие на проведение обследования в полном объеме и обеспечение конфиденциальности. Все исследования соответствовали этическим стандартам, разработанным на основании Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правил клинической практики в Российской Федерации»,

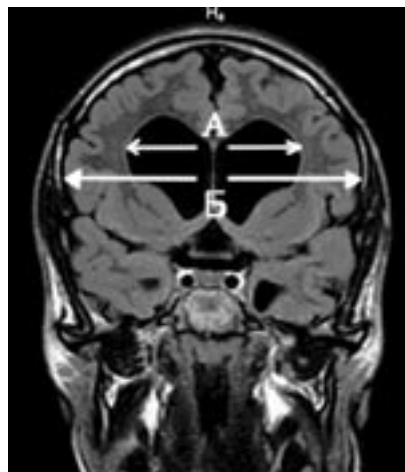


Рис. 1. Индекс Эванса (желудочковый индекс) – отношение максимального расстояния между наружными стенками передних рогов боковых желудочков (А) и максимальным битемпоральным диаметром черепа (Б)

утвержденных Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Кроме того, исследования проводились под контролем локального этического комитета ФГБУН Института «Международный томографический центр» СО РАН.

Работа выполнялась на МР-томографе Achieva (Philips) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Изначально проводилось рутинное обследование, которое включало стандартные T1- и T2-взвешенные изображения (ВИ), методику с подавлением сигнала от свободной жидкости (FLAIR), бесконтрастные МР-миелографию и ангиографию. Далее выполняли пять последовательностей фазово-контрастной МРТ (ФК-МРТ) для пяти различных уровней. Параметры методики: толщина среза – 4 мм, кодирующий коэффициент скорости потока – 15 см/с – для уровня Сильвиева водопровода и межножковой цистерны, 5 см/с – для IV желудочка и предмостовой цистерны, 10 см/с – для отверстия Мажанди и мозжечково-мозговой цистерны, субарахноидального пространства (САП) большого затылочного отверстия (БЗО) и шейного уровня (на уровне C2-C3); время сканирования



Рис. 2. Ориентация срезов при исследовании ликворотока: 1 – Сильвиев водопровод и межножковая цистерна, 2 – IV желудочек и предмостовая цистерна, 3 – отверстие Мажанди и мозжечково-мозговая цистерна, 4 – переднее и заднее субарахноидальные пространства большого затылочного отверстия, 5 – переднее и заднее субарахноидальные пространства шейного уровня. Условное деление на две топографические системы ликворных пространств: внутреннюю (сплошная линия) и наружную (пунктирная линия)

для одного уровня – 2 мин 47 с. Оценивались средние для одного сердечного цикла объемная, средняя и пиковая скорости потока на уровне Сильвиева водопровода и межножковой цистерны, IV желудочка мозга и предмостовой цистерны, отверстия Мажанди и мозжечково-мозговой цистерны, передних и задних отделов субарахноидального пространства большого затылочного отверстия и шейного уровня (C2-C3). Срезы для получения скоростных изображений располагались перпендикулярно току ликвора по ходу выбранной структуры на сагитальном T1-ВИ (рис. 2).

Обработка полученной информации на рабочей станции включала обведение срезов полученных структур по границе зон с гипо- и гиперинтенсивным сигналом (пульсирующий ликвор) с созданием неправильной геометрической фигуры (ROI), а также последующий автоматический

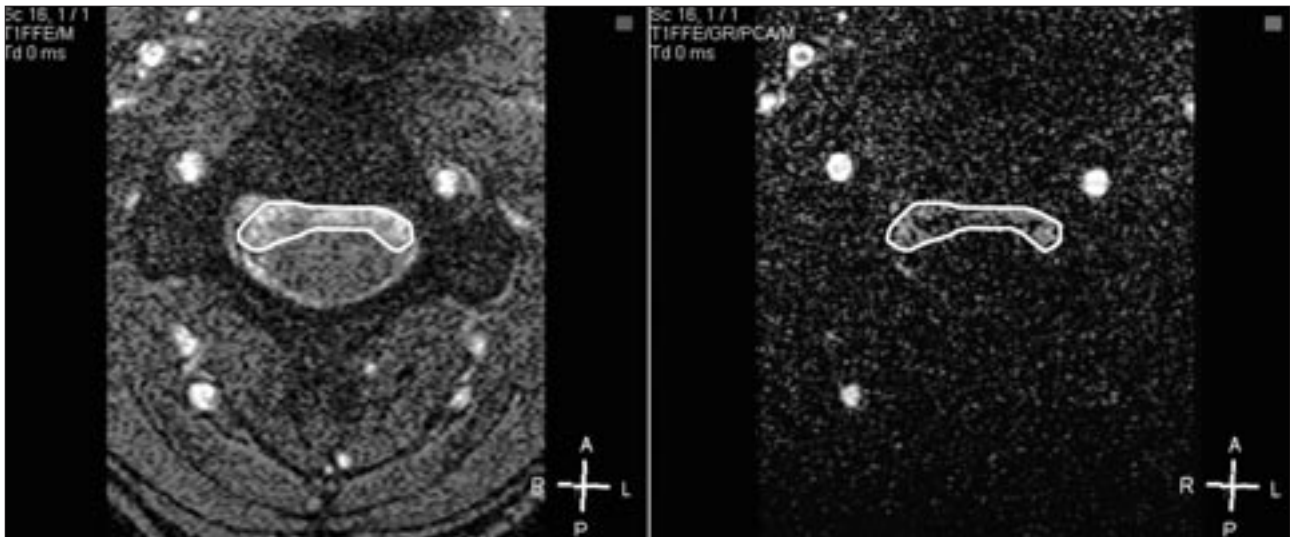


Рис. 3. Ручное обведение контуров исследуемых структур по границе зон с гипо- и гиперинтенсивным сигналом (пульсирующий ликвор) с созданием неправильной геометрической фигуры (ROI)

кий перенос геометрии (с помощью специальной опции переноса геометрии в программе пост-обработки данных на рабочей станции) на каждую из оставшихся 14 фаз сердечного цикла. Учитывая вариабельность поперечного сечения исследуемых структур в разные фазы сердечного цикла, обведение контуров ликвородинамически значимого просвета в некоторых случаях проводилось вручную для каждой из фаз (рис. 3).

При обработке данных рассчитывали среднее значение, доверительный интервал для каждого показателя. С использованием t-критерия Стьюдента были проведены сравнение параметров антеградного и ретроградного потоков ликвора, а также комплексный анализ параметров ликвородинамики в условиях нормы и патологии [8].

Результаты

Для более детальной оценки результатов средние значения характеристик движения потока ликвора были разделены на две топографические группы (см. рис. 2):

1) задняя (внутренняя) система – Сильвиев водопровод, IV желудочек, отверстие Мажанди, заднее субарахноидальное

пространство большого затылочного отверстия и шейной области (уровень C2-C3);

2) передняя (наружная) система – межжожковая, предмостовая, мозжечково-мозговая цистерны, переднее субарахноидальное пространство области большого затылочного отверстия и уровня C2-C3 (как отражение эвакуации ликвора из полостей головного мозга в подбололочные пространства спинного мозга).

Пациенты группы СГ были разделены на две подгруппы: с умеренной гидроцефалией (17 человек) – индекс Эванса составил $0,31 \pm 0,01$, и выраженной гидроцефалией (10 человек) – индекс Эванса составил $0,46 \pm 0,05$. При этом у всех пациентов отмечалось увеличение желудочковой системы, а также увеличение передне-заднего размеров Сильвиева водопровода и отверстия Мажанди, предмостовой и мозжечково-мозговой цистерн по сравнению с группой контроля ($p < 0,05$). Основными клиническими проявлениями у пациентов с умеренной гидроцефалией были головные боли, снижение интеллектуальных функций, концентрации внимания, нарушение координации. У пациентов с выраженной гидроцефалией чаще

встречались жалобы на нарушение походки, двоение в глазах, расстройства функции мочевого пузыря и более глубокое снижение интеллектуальных функций. Коэффициент корреляции Спирмена (r) составил 0,52 при $p < 0,01$, что соответствует прямой корреляции умеренной силы между двумя наборами данных (степенью расширения желудочковой системы и выраженностью клинических проявлений).

Фазово-контрастная МРТ показала наличие потока ликвора на исследуемых уровнях в виде гипер- и гипоинтенсивного пульсирующего сигнала в выбранной области интереса.

Антеградный поток ликвора определялся в виде отрицательных значений (краниокаудальный поток), ретроградный поток определялся в виде положительных значений (каудокраниальный поток).

Для внутренней системы ликворных пространств существенных различий найдено не было, полученные результаты представлены в виде сводной таблицы с указанием средних значений и доверительного интервала.

Наиболее достоверные различия параметров ликвородинамики были найдены для наружной системы ликворных пространств,

Средние значения линейной и объемной скоростей антеградного и ретроградного потока (АП, РП) ликвора во внутренней системе ликворных пространств у пациентов с умеренной и выраженной СГЦФ по сравнению с группой контроля

Показатель	Сильвиев водопровод		IV желудочек		Отверстие Мажанди		БЗО (заднее САП)		Уровень С2-С3 (заднее САП)	
	АП	РП	АП	РП	АП	РП	АП	РП	АП	РП
Линейная скорость, см/с										
группа контроля	-1,50±0,18	1,44±0,19	-0,11±0,06	0,05±0,06	-0,47±0,09	0,33±0,07	-0,18±0,05	0,08±0,04	-0,48±0,12	0,32±0,08
умеренная СГЦФ	-1,53±0,32	1,62±0,31	-0,04±0,01	0,02±0,01	-0,45±0,11	0,33±0,08	-0,08±0,04	0,06±0,03	-0,39±0,21	0,22±0,11
выраженная СГЦФ	-1,61±0,68	1,35±0,55	-0,07±0,05	0,07±0,09	-0,54±0,33	0,62±0,46	-0,12±0,07	0,07±0,05	-0,49±0,38	0,24±0,17
Объемная скорость, мл/с										
группа контроля	-0,10±0,01	0,06±0,01	-0,05±0,02	0,01±0,01	-0,07±0,02	0,02±0,01	-0,25±0,06	0,11±0,04	-0,25±0,06	0,15±0,05
умеренная СГЦФ	-0,09±0,04	0,10±0,03	-0,05±0,03	0,02±0,01	-0,06±0,02	0,05±0,03	-0,16±0,08	0,12±0,06	-0,22±0,12	0,12±0,07
выраженная СГЦФ	-0,14±0,06	0,11±0,06	-0,10±0,08	0,11±0,15	-0,18±0,11	0,20±0,14	-0,19±0,11	0,12±0,09	-0,28±0,21	0,14±0,09

результаты представлены в виде комплексных графических изображений динамического изменения параметров ликвородинамики на исследуемых уровнях в условиях нормы, умеренной и выраженной СГЦФ, с указанием достоверности различий между средними значениями скоростных параметров групп контроля и исследования (рис. 4–7).

Обсуждение

Во внутренней системе ликворных пространств достоверные различия были найдены

только на отдельных уровнях (см. таблицу). Так, в группе пациентов с умеренной СГЦФ отмечалось умеренное увеличение объемной скорости потока на уровне отверстия Мажанди и Сильвиева водопровода ($p < 0,05$). А у пациентов с выраженной СГЦФ отмечалось увеличение средней и объемной скоростей на уровне Сильвиева водопровода, IV желудочка и отверстия Мажанди ($p < 0,05$). Такие результаты можно объяснить тем, что данная система является достаточно мономорфной, состоит из

трубчатых структур и имеет стабильные анатомо-топографические параметры в популяции, поэтому в последнюю очередь подвержена каким-либо изменениям при патологии [9, 10]. Для пиковой скорости потока достоверных различий не было найдено.

При анализе полученных данных в наружной системе отмечается симметричное плавное увеличение линейной и объемной скоростей потока по направлению к выходу из полости черепа, с наиболее высокими значениями на уровне мозжечково-мозговой

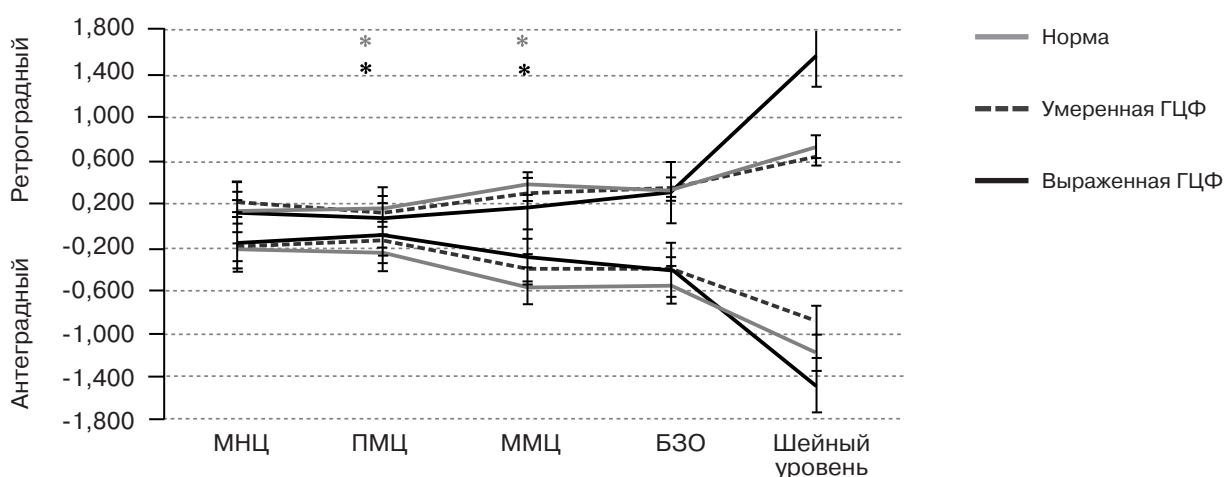


Рис. 4. Характер изменения линейной скорости (см/с) потока ликвора в системе межножковая цистерна (МНЦ) – предмостовая цистерна (ПМЦ) – мозжечково-мозговая цистерна (ММЦ) – переднее субарахноидальное пространство большого затылочного отверстия (БЗО) – уровень С2-С3 в условиях нормы и у пациентов с умеренной (достоверность различий с группой контроля – серые звездочки) и выраженной (достоверность различий – черные звездочки) сообщающейся гидроцефалией.

* $p < 0,05$

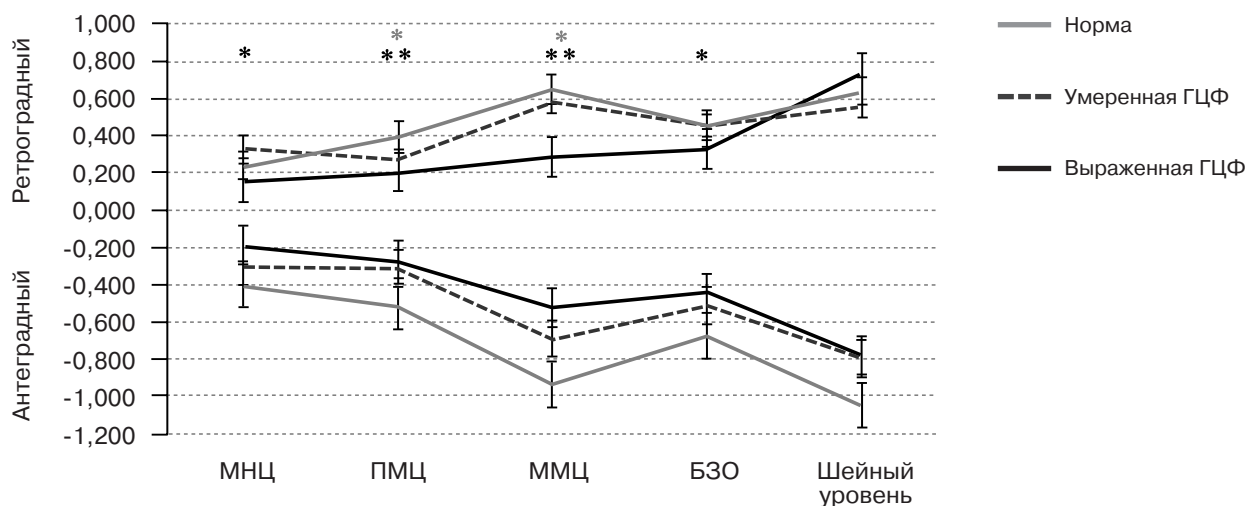


Рис. 5. Характер изменения объемной скорости (мл/с) потока ликвора в системе МНЦ – ПМЦ – ММЦ – переднее субарахноидальное пространство БЗО – уровень С2-С3 в условиях нормы и у пациентов с умеренной (достоверность различий с группой контроля – серые звездочки) и выраженной (достоверность различий – черные звездочки) сообщающейся гидроцефалией.
* $p < 0,05$. ** $p < 0,01$

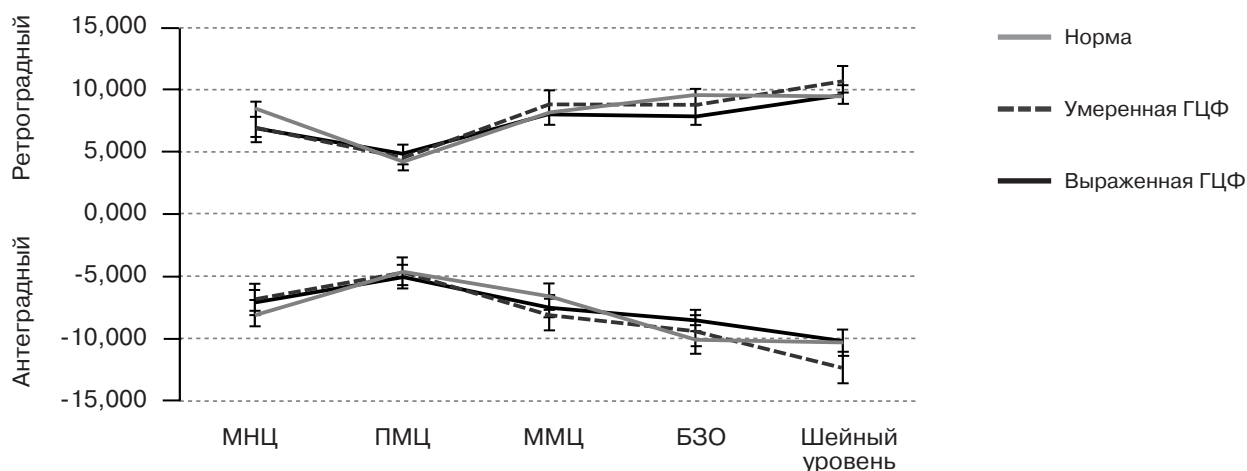


Рис. 6. Характер изменения пиковой скорости (см/с) потока ликвора в системе МНЦ – ПМЦ – ММЦ – переднее субарахноидальное пространство БЗО – уровень С2-С3 в условиях нормы и у пациентов с умеренной и выраженной сообщающейся гидроцефалией

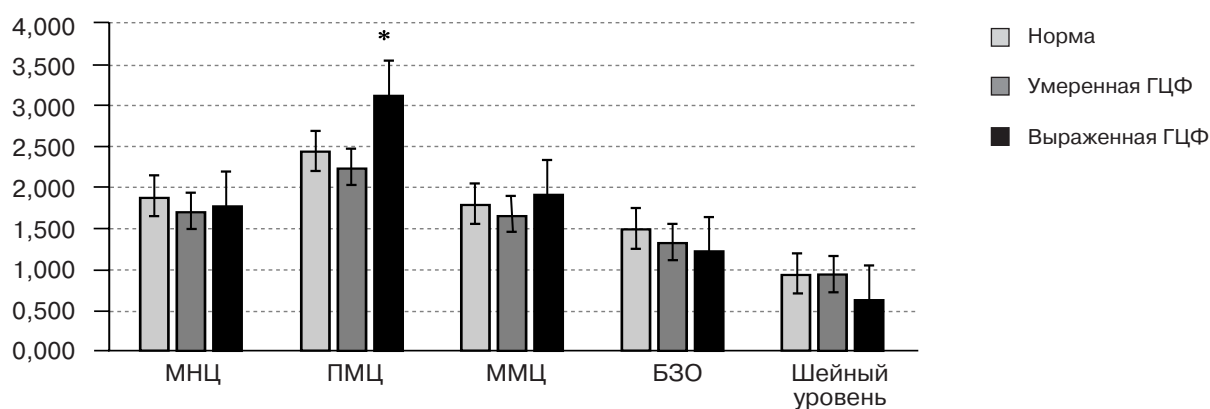


Рис. 7. Характер изменения площади поперечного сечения (см²) ликворотока в системе МНЦ – ПМЦ – ММЦ – переднее субарахноидальное пространство БЗО – уровень С2-С3 в условиях нормы и у пациентов с умеренной и выраженной сообщающейся гидроцефалией.
* $p < 0,05$

цистерны и максимальными – на шейном уровне (при этом не отмечается значимых закономерностей и связи с различием в площади просвета ликворосодержащих структур). Пиковая скорость также преимущественно увеличивается от уровня базальных цистерн к шейному уровню.

Различий между значениями антеградного и ретроградного потоков найдено не было, что можно связать с достаточно широким просветом базальных цистерн, позволяющим ликвору активно пульсировать внутри них в обоих направлениях, но с высокими показателями как антеградного, так и ретроградного потока.

При оценке достоверности различий между группами контроля и исследования наиболее достоверные различия определялись в наружной системе ликворных пространств (см. рис. 4–7). У пациентов с умеренной СГЦФ отмечается снижение линейной и объемной скорости потока ликвора преимущественно на уровне предмостовой и мозжечково-мозговой цистерн ($p < 0,05$). У пациентов с выраженной ГЦФ отмечалось снижение скоростных параметров (линейной и объемной скорости потока) на уровне предмостовой, мозжечково-мозговой цистерн, в переднем субарахноидальном пространстве БЗО ($p < 0,01$), а также объемной скорости на уровне межжировой цистерны ($p < 0,05$). При этом отдельно было выполнено сравнение скоростных параметров между подгруппами пациентов с умеренной и выраженной СГЦФ. Были получены достоверные различия для линейной и объемной скорости потока на уровне предмостовой и мозжечково-мозговой цистерн ($p < 0,05$). Таким образом, можно отметить прогрессирующее снижение линейной и объемной скоростей потока, зависящее от степени выраженности гидроцефалии.

Полученные в ходе исследования данные можно связать

с прогрессирующим уменьшением реабсорбции ликвора в венозную систему через пахионовы грануляции, а также капилляры субарахноидальных пространств на фоне преимущественно незначительного расширения базальных цистерн. Постепенно снижающееся обратное всасывание приводит к замедлению эвакуации ликвора из полости черепа и, соответственно, к его скоплению в желудочковой системе. Увеличенные желудочки сдавливают окружающую мозговую ткань, что приводит к усугублению клинических проявлений и прогрессирующему снижению трудоспособности. Полученные данные могут помочь клиницистам в оценке компенсаторных способностей мозговой ткани и прогноза дальнейшего развития патологических изменений. При развитии расстройств ликворциркуляции желудочковая система реагирует позднее (на растяжение желудочков требуется время), однако скоростные характеристики потока ликвора изменяются раньше. Поэтому на основании полученных данных можно определять уровень компенсаторных возможностей. Если у пациента (особенно детского возраста) имеется умеренное расширение желудочковой системы, однако присутствует значительное снижение линейной и объемной скоростей потока в области базальных цистерн головного мозга или БЗО (можно предполагать суб- и декомпенсацию процессов внутричерепного соответствия), то требуется особое внимание в связи с высокой вероятностью увеличения степени выраженности изменений. Соответственно, такие пациенты нуждаются в более серьезном терапевтическом лечении и являются потенциальными претендентами на шунтирование.

Заключение

Проведенное исследование иллюстрирует возможности использования ФК-МРТ в оценке

количественных параметров потока ликвора в условиях нормы и у пациентов с разной степенью выраженности сообщающейся гидроцефалии. Методика позволяет комплексно подходить к основам патофизиологии, свидетельствует о неоднородности потока на протяжении ликворосодержащей системы и важности перпендикулярного вектора потока ликвора (вносящего основной вклад в суммарный поток). Было обнаружено, что скоростные характеристики антеградного и ретроградного потоков ликвора достоверно отличаются в условиях нормы и патологии, что может быть актуально для неврологов и нейрохирургов при планировании терапевтического и хирургического лечения.

Конфликт интересов

Конфликт интересов не заявляется.

Финансирование

Исследование было поддержано грантом Российского научного фонда (проект № 14-35-00020).

Литература

1. Hakim S. Some observations on CSF pressure: Hydrocephalic syndrome in adults with «Normal» CSF pressure-recognition of a new syndrome: Javeriana University School of Medicine. 1964; Bogotá, Columbia.
2. Bradley W.G., Safara F.G., Hurtado C., Orda J., Alksneb J.F. Increased intracranial volume: A clue to the etiology of idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Am. J. Neuroradiol.* 2004; 25: 1479–84.
3. Johnston I., Teo Ch. Disorders of CSF hydrodynamics. *Childs Nervous System.* 2000; 16: 776–99.
4. McQuarrie I.G., Saint-Louis L., Scherer P.B. Treatment of normal pressure hydrocephalus with low versus medium pressure cerebrospinal fluid shunts. *Neurosurgery.* 1984; 15: 484–8.
5. Jeffreys R.V., Wood M.M. Adult non-tumourous dementia and

hydrocephalus. *Acta Neurochir.* 1978; 45: 103–14.

6. Пашкова А.А. Магнитно-резонансная томография в качественной и количественной оценке ликвородинамики и состояния головного мозга у больных с гидроцефалией. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург; 2014.
7. Matsumae M., Kikinis R., Morocz I., Lorenzo A.V. Intracranial compartment volumes in patients with enlarged ventricles assessed by magnetic resonance-based image processing. *J. Neurosurg.* 1996; 84 (6): 972–81.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие. 4-е изд. М.: Высшая школа; 1990.
9. Huang T.Y., Chung H.W., Chen M.Y., Giiang L.H., Chin S.C., Lee C.S. et al. Supratentorial cerebrospinal fluid production rate in healthy adults: quantification with two-dimensional cine phase-contrast MR Imaging with high temporal and spatial resolution. *Radiology.* 2004; 233: 603–8.
10. Nitz W.R., Bradley W.J., Watanaabe A.S., Lee R.R., Burgoyne B., O'Sullivan R.M. et al. Flow dynamics of cerebrospinal fluid: assessment with phase-contrast velocity

MR imaging performed with retrospective cardiac gating. *Radiology.* 1992; 183: 395–405.

References

1. Hakim S. Some observations on CSF pressure: Hydrocephalic syndrome in adults with «Normal» CSF pressure-recognition of a new syndrome: Javeriana University School of Medicine. 1964; Bogotá, Columbia.
2. Bradley W.G., Safara F.G., Hurtadoa C., Orda J., Alksneb J.F. Increased intracranial volume: A clue to the etiology of idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Am. J. Neuroradiol.* 2004; 25: 1479–84.
3. Johnston I., Teo Ch. Disorders of CSF hydrodynamics. *Childs Nervous System.* 2000; 16: 776–99.
4. McQuarrie I.G., Saint-Louis L., Scherer P.B. Treatment of normal pressure hydrocephalus with low versus medium pressure cerebrospinal fluid shunts. *Neurosurgery.* 1984; 15: 484–8.
5. Jeffreys R.V., Wood M.M. Adult non-tumourous dementia and hydrocephalus. *Acta Neurochir.* 1978; 45: 103–14.
6. Pashkova A.A. Magnetic resonance imaging in the qualitative and quantitative evaluation of cerebrospinal fluid dynamics and the state of the brain in patients with hydrocephalus. MD, PhD sci. Theses of Diss. St. Petersburg; 2014 (in Russian).
7. Matsumae M., Kikinis R., Morocz I., Lorenzo A.V. Intracranial compartment volumes in patients with enlarged ventricles assessed by magnetic resonance-based image processing. *J. Neurosurg.* 1996; 84 (6): 972–81.
8. Lakin G.F. Биометрия. 4th edn. Moscow: Vysshaya shkola; 1990 (in Russian).
9. Huang T.Y., Chung H.W., Chen M.Y., Giiang L.H., Chin S.C., Lee C.S. et al. Supratentorial cerebrospinal fluid production rate in healthy adults: quantification with two-dimensional cine phase-contrast MR Imaging with high temporal and spatial resolution. *Radiology.* 2004; 233: 603–8.
10. Nitz W.R., Bradley W.J., Watanaabe A.S., Lee R.R., Burgoyne B., O'Sullivan R.M. et al. Flow dynamics of cerebrospinal fluid: assessment with phase-contrast velocity MR imaging performed with retrospective cardiac gating. *Radiology.* 1992; 183: 395–405.

Поступила 07.12.2015
Принята к печати 31.12.2015