

Современные методы исследования патологии ликворной системы

Н.В. Арутюнов, В.Н. Корниенко, Л.Н. Фадеева, Ф.Р. Мамедов

НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, Москва

Совершенствование программного обеспечения магнитно-резонансных томографов позволяет рентгенологам все чаще отказываться от инвазивных методов исследования в пользу более щадящих методик. Среди них магнитно-резонансная миелография, магнитно-резонансная цистернография, комбинированный метод компьютерно-томографической и магнитно-резонансной цистернографии. Для оценки ликворотока с получением числовых характеристик – линейного и объемного ликворотока, используется метод фазово-контрастной магнитно-резонансной томографии. 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 и расположенные в просвете ликворной системы, «пустое» седло, различные виды ликвореи, патология Арнольда–Киари, аномалии развития мозга и желудочков, вентрикулостомы (искусственные и спонтанные), постоперационные скопления ликвора, конвексимальные гигромы. Методы магнитно-резонансной миелографии и магнитно-резонансной цистернографии могут успешно заменить инвазивные методики визуализации ликворных пространств головного и спинного мозга. Фазовоконтрастная магнитно-резонансная томография эффективна в выявлении степени открытой формы гидроцефалии и постоперационного контроля при патологии Арнольда–Киари.

Ключевые слова: магнитно-резонансная миелография, магнитно-резонансная цистернография, фазовоконтрастная магнитно-резонансная томография, открытая гидроцефалия, патология Арнольда–Киари, ликворная фистула.

Нейрохирургические заболевания часто приводят к изменению ликворной системы различной степени выраженности. При этом нарушается нормальное анатомическое строение арахноидальных пространств и желудочковой системы. Нарушаются физиологические константы ликворопродукции, резорбции ликвора, внутричерепного давления, скорости ликворотока. Эти изменения не только сопутствуют основному заболеванию, но зачастую приводят к ухудшению качества жизни нейрохирургических больных, их инвалидизации. Своевременное выявление нарушений ликворной системы у больных, динамическое наблюдение за регрессом выявленных симптомов в ходе консервативного или постхирургического лечения – актуальная проблема нейрорентгенологии, нейрохирургии и неврологии.

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 (вентрикулография) (МРЦГ/ВГ) 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, дополненные данными прицельной спиральной компьютерной томографии (СКТ), дают исчерпывающую диагностическую информацию и в большинстве случаев заменяют необходимость контрастного усиления. Тем не менее, в некоторых сложных наблюдениях следует приме-

нять дополнительное контрастное усиление ликворных пространств и выполнять одномоментную компьютерно-томографическую цистернографию (КТЦГ) и магнитно-резонансную цистерномиелографию (МРЦМГ) с комбинированным неионным контрастным веществом (КНКВ), разработанным и внедренным в диагностическую практику в НИИ нейрохирургии.

Среди неинвазивных методов исследования ликворотока в норме и при патологии особое место принадлежит разработанному и адаптированному к нуждам нейрохирургической клиники методу фазовоконтрастной магнитно-резонансной томографии (ФКМРТ) с кардиосинхронизацией. Этот функциональный метод, основанный на эффектах потока, возникающих в магнитном резонансе, позволяет не только визуализировать движение ликвора, но количественно оценить основные ликвородинамические параметры в зонах интереса: линейный и объемный ликвороток, ударный объем, взаимосвязь изменения амплитуд внутричерепного давления и т.д.

В диагностической практике выбор метода исследования ликворной системы и связанной с ней патологии основывается на предварительном диагнозе больного (стандартная МРТ) и конкретных клинических задачах. Разработанные с этой целью протоколы исследования ликворной патологии реализованы на высокопольных МРТ с напряженностью магнитного поля 1.5 T (Signa, General Electric Medical Systems). Основу протоколов составляет ряд импульсных последовательностей; это последовательности градиентного эха SSFP (или PSIF), FIESTA, а также спинного эха Fast SE, Single Shot SE, – все они обеспечивают высокий МР-сигнал от ликворотока по отношению к веществу мозга.

За последние 10 лет с помощью этих методов в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко обследовано более 1,5 тыс. больных с различной патологией.

Большинство из применяемых методов исследования составил метод МРЦГ (54%). Показаниями к проведению МРЦГ явились: все виды гидроцефалии, арахноидальные кисты, опухоли, располагающиеся в просвете ликворной системы, «пустое» седло, различные виды ликвореи, патология Арнольда–Киари, аномалии развития мозга и желудочков, вентрикулостомы (искусственные и спонтанные), постоперационные скопления ликвора, конвексительные гиромы.

Метод МРЦГ основан на последовательностях градиентного эха. Так, по протоколу на основе SSFP последовательности с использованием головной катушки и параметров TR 18 мс/TE 28 мс/FA 80, FOV – 220 мм, при толщине среза – 60 мм, NEX – 1, матрицей 256*192, время исследования составило 5,3 минуты. В некоторых наблюдениях дополнительно использовался миелографический протокол.

В наших исследованиях 16% составили случаи, при которых выполнялась неинвазивная МРМГ. Это пациенты с дискогенным остеохондрозом, арахноидальными и периневральными кистами спинного мозга, гидромиелией и некоторыми видами опухолей спинного мозга, радикулоцеле. МРМГ проводилась с использованием протоколов на основе FSE последовательности в формате как двухмерной, так и трехмерной МРТ. В некоторых случаях применялся протокол FIESTA на основе технологии градиентного эха.

Протокол МРМГ, составленный на основе импульсной последовательности 2D/3D FSE с параметрами TR/TE – 9000 мс/270 мс, полем обзора FOV = 300 мм, матрицей 256*192, количеством повторов (NEX) – 1, толщиной среза – 3 мм, временем исследования – 4 минуты, позволял получить 3D – изображения с помощью построения моделей с максимальной интенсивностью сигнала (MIP обработка). Обработка данных проводилась на рабочих станциях Advantage Windows 2.0*4.0 (General Electric Medical Systems).

В последнее время для исследования ликворотока успешно применяется протокол, реализованный на основе импульсной последовательности 3D FIESTA, который используется для визуализации ликворных пространств, как головного, так и спинного мозга. Параметры протокола – TR 70 мс/TE 1.7 мс(min)/FA 65, FOV – 240 мм, матрица изображения 256*128, NEX – 1, толщина среза – 0.8 мм; при толщине среза – 50 мм, время исследования составляет 4,3 минуты.

В сложных диагностических случаях, при которых неинвазивная МРЦГ в комбинации с СКТ, выполненной на мультиспиральных компьютерных томографах HiSpeed (General Electric Medical Systems) и Brillanse (Philips) являлась недостаточно информативной, применялся разработанный нами метод одномоментной инвазивной КТЦГ и МРЦГ с комбинированным неионным контрастным веществом (7%). Это были больные с невыявленными другими методами ликвореями, некоторыми радикулоцеле, пооперационными кистами.

КНКВ состоит из смеси неионного рентгеноконтрастного вещества Омнипак-240 (из расчета 0,15 мл/кг) и неионного магнитно-резонансного контрастного вещества, дополненного 5 мл раствора Омнискана (из расчета 0,44

мкМ/кг). КНКВ вводится эндолумбально с последующим приведением больного в положение Транделенбурга. Далее выполняются КТЦГ и МРЦГ на основе импульсной последовательности FLAIR с параметрами TR 11000 мс/TE 154 мс/ТИ 2300 мс, толщиной среза – 3–5 мм.

Функциональная ФКМРТ с кардиосинхронизацией (23%) применялась для анализа и количественной оценки параметров ликворотока у больных с открытыми формами гидроцефалии (преимущественно посттравматической) (58%) и патологией Арнольда–Киари (32%), для оценки состоятельности III-ей вентрикулостомы (7%), в редких случаях (3%) – в наблюдениях больных гидромиелией. Протокол проведения ФКМРТ предусматривает привязку процесса сканирования к сердечному циклу больного и основан на использовании двухмерной последовательности фазового контраста 2DVASC-PC с параметрами TR 26 мс/TE 11 мс/FA 20, матрицей изображения 256*160, количеством повторов NEX – 2, FOV – 200 мм. Референсный срез/срезы выставляется перпендикулярно току ликвора в зоне интереса. Для записи кривой сокращения сердца используется периферический плетизмограф. Связь фазовых линий К-пространства и фазы сердечного цикла осуществляется с помощью опции «Gating». При этом время сканирования зависит от числа сердечных сокращений и может несколько отличаться от расчетного; в среднем, в наших исследованиях оно составляло – 4,5 минут. За кардиоцикл регистрировалось 16 изображений, соответствующих различным составляющим кардиоцикла. Кодировка скорости движущихся в потоке спинов (VENC-Velocity ENcoding) обычно равнялась 10 см/с, а в случае появления артефактов от гиперпульсации – параметр VENC увеличивался до 15–20 см/с. В результате исследования методом ФКМРТ для каждого больного были получены два набора фазовых изображений: первый – в сагиттальной плоскости, демонстрирующий перемещение ликвора в течение сердечного цикла и отображающий качественный характер ликворотока; второй набор данных – изображения в аксиальной плоскости, которые затем обрабатывались программным пакетом Flow Analysis с получением значений линейного и объемного ликворотока.

Неинвазивная МРМГ сегодня является методом выбора у пациентов с грыжами межпозвонковых дисков и дает со стандартными T1- и T2-томограммами практически полную картину состояния межпозвонкового диска, изменений связочного аппарата, степени компрессии дурального мешка, корешков спинного мозга и его мешочков (рис. 1). Получаемые данные не уступают по информативности данным стандартной миелографии, а при проведении МРТ



рис. 1: Сагиттальная (А) и аксиальная (Б) проекции в режиме T2 больного с крупной заднепарамедианной грыжей межпозвонкового диска и сопутствующей компрессией дурального мешка, более четко выявляемой при МРЦГ после полипроекционной 3D-обработки на рабочей станции (В, Г).

в послеоперационном периоде, например, в случаях установки у больного титановых стабилизирующих систем, не имеют значительных артефактов, снижающих диагностическую информативность по сравнению со стандартными томограммами в режимах T1- и T2, а также и при рентгеновской КТ [1–3].

Недостатком метода МРМГ является неспецифичность к изменению со стороны костных структур. Поэтому в случаях выраженного остеохондроза (наличия крупных или множественных остеофитов, обызвествления связочного аппарата) и при планировании операционных вмешательств целесообразно дополнять данные МРТ компьютерно-томографическим исследованием.

Основной методикой выявления ликворных фистул основания черепа является КТЦГ с неионными КВ. Эта методика является высокоинформативной, но инвазивной и имеет те же недостатки, что и рентгеновская КТМГ. Альтернативой этому методу является МРЦГ в сопоставлении с прицельной СКТ, что позволяет избежать инвазии с возможными нежелательными побочными эффектами, включая болевые реакции (рис. 2, 3). Эти наблюдения

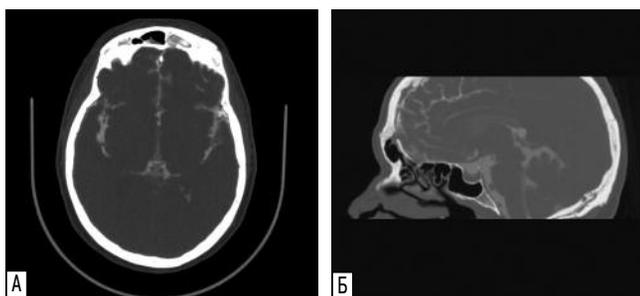


рис. 2: КТЦГ аксиальной (А) и сагитальной (Б) проекциях больного с назальной ликвореей, обусловленной фистулой посттравматического генеза. Выявляется костный дефект в задней стенке лобной пазухи парамедиано слева с затеканием КВ в ее полость

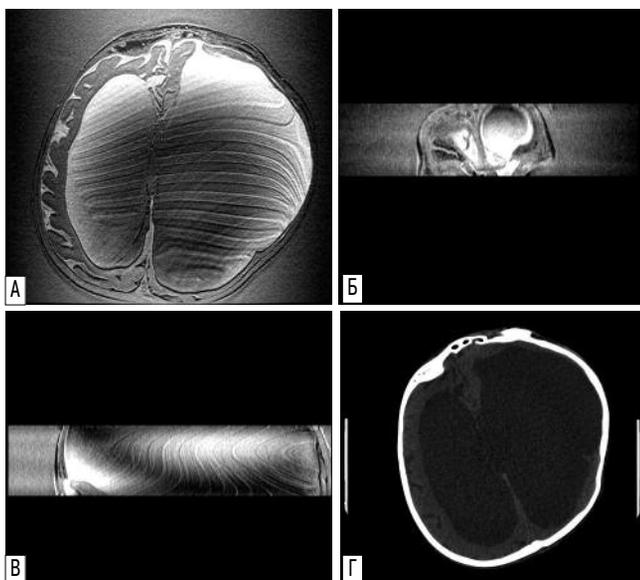


рис. 3: Стеноз водопровода, асимметричная гидроцефалия. КТЦГ на основе 3D FIESTA в аксиальной (А), фронтальной (Б) и сагитальной (В) проекциях демонстрирует прорыв ликвора через переднюю стенку бокового желудочка в костный дефект задней стенки лобной пазухи, подтвержденный прицельной СКТ (Г).

демонстрируют новые возможности применения двух различных методов, позволяющих не только поставить диагноз, но и избежать инвазии.

Методы КТ и МР цистерно- и миелографии позволяют оценивать структурно-анатомические характеристики ликворной системы, визуализировать геометрию ликворных пространств с медленным движением ликвора. К достоинствам также следует отнести возможность проведения 3D-исследований, которые могут использоваться для количественных оценок параметров ликворной системы, таких как объем желудочковой системы и субарахноидальных ликворных пространств, а также объем свода черепа и паренхимы мозга. Однако, визуальная оценка динамических характеристик ликворотока (скорости, ускорения) методами КТЦГ и МРЦГ, а также получение количественных характеристик ликворотока пока невозможны.

В 8–10% наблюдений данные МРЦГ и КТЦГ не позволяют выявлять ликворные фистулы [4]. Одной из причин является высокая чувствительность импульсных последовательностей градиентного эха к неоднородности магнитного поля и возникновению различных артефактов (например, при наличии металла, выраженная гиперпульсация ликвора, пограничные зоны «ткань – жидкость» и т.д.). В случае проведения МРЦГ на основе последовательности, взвешенной по T2, могут возникнуть трудности дифференцирования воспаленной слизистой пазух и ликворных скоплений, в обоих случаях имеющих высокий МР-сигнал [7]. При проведении КТЦГ трудности диагностики часто возникают из-за высококонтрастных характеристик КВ и костей основания черепа. Примером этому могут служить случаи ушной ликвореи, где КВ, заполняющее ячеи пирамидки височной кости, трудноотличимо от последней. Применяемая в данном случае субтракция костных структур не позволяет получить адекватные результаты. В этих наблюдениях полезно выполнять режим FLAIR (рис. 4).

Рядом зарубежных авторов и нами в подобных случаях предложено контрастирование ликворных пространств при МРТ [5, 6]. Эта методика получила название инвазивная магнитно-резонансная миело-цистернография. Однако концентрации гадолиния, вводимого в ликворное пространство для усиления визуализации ликвора настолько мала, что не позволяет даже при приведении больного в позу Транделенбурга проникнуть в субарахноидальное пространство основания мозга. Этот эффект связан с малым удель-

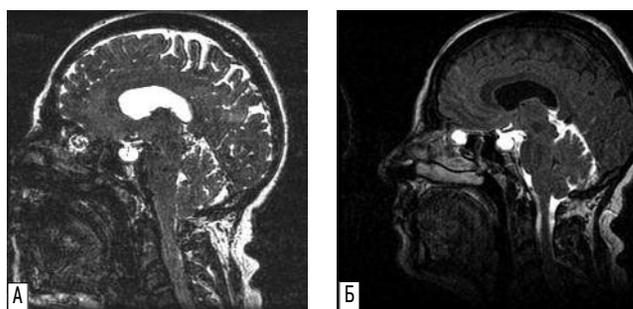


рис. 4: А – сагитальная МРЦГ на основе градиентного эха у больного с сочетанием «пустого» седла и ликворной фистулы основания черепа. Визуализация фистулы затруднена из-за артефактов от металла зубов. Б – сагитальная инвазивная МРЦГ в режиме FLAIR у того же больного демонстрирует четкое заполнение полости ликворной фистулы в области сетчатой пластинки и затекание комбинированного КВ в решетчатый лабиринт.

ным весом магнитно-резонансного КВ и повышенной пульсацией ликвора на уровне краниовертебрального перехода. Для избежания этих эффектов нами предложено смешивание рентгеновского КВ (Арутюнов Н.В., Корниенко В.Н. и соавт., 2000 [8]), обладающего большим удельным весом и легко заполняющего зоны интереса ликворных пространств при изменении положения больного, с магнитно-резонансным КВ. Проведенные нами исследования позволили разработать высокоэффективный метод доставки МР-контрастного вещества на основе черепа, в базальные цистерны и борозды основания.

Метод успешно применяется для выявления патологии ликворных пространств спинного мозга и у больных со сложно выявляемыми радикулоцеле (рис. 5).

Предложенная методика контрастирования ликворных пространств позволила улучшить визуализацию ликвор-

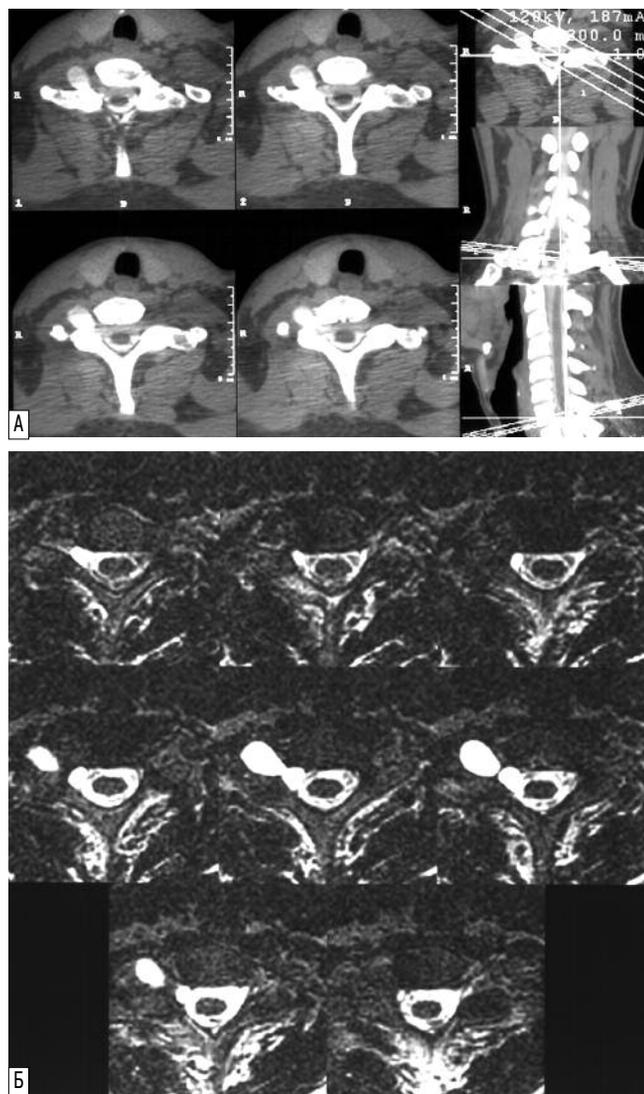


рис. 5: А – аксиальная КТМГ больного с травматическим радикулоцеле. Исследование дает диагностическую информацию о состоянии тела позвонка, его боковых масс и отростков, четко визуализируется спинной мозг на фоне КВ. Визуализация радикулоцеле затруднена. Б – аксиальная инвазивная МРМГ с КНКВ демонстрирует четкое заполнение полости травматической радикулоцеле.

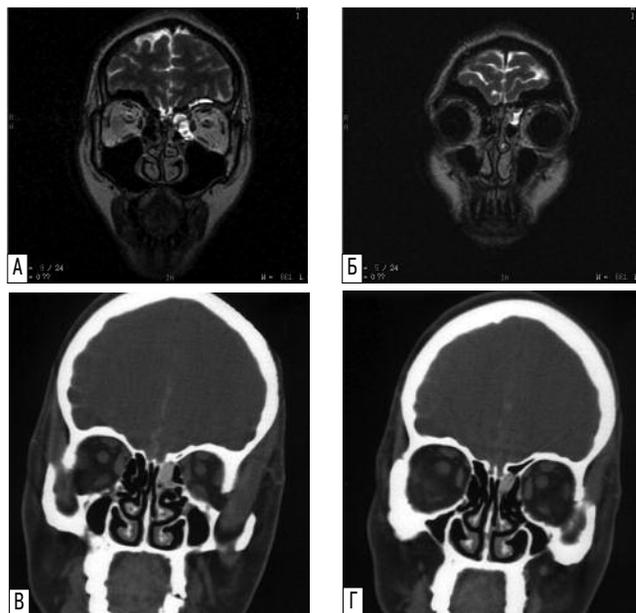


рис. 6: Фронтальная инвазивная МРЦГ в режиме FLAIR на разных уровнях (А, Б) демонстрирует две небольших размеров фистулы в области ситовидной пластинки. Фронтальное КТЦГ того же больного подтверждает наличие костного дефекта в области фистул (В, Г).

ных фистул на основании мозга по сравнению с КТЦГ (рис. 6). Отмечается более высокий МР-сигнал от усиленного с помощью КВ ликвора содержимого фистулы. Визуально последовательность FLAIR демонстрирует более высокий контраст от скопления ликвора в фистуле по отношению к окружающим тканям. Однако визуализация костных структур затруднена; дополнительное проведение КТЦГ позволяет решить эту проблему.

Изучение ликвороциркуляции методом ФКМРТ началось в конце 80-х начале 90-х годов. В ранних работах авторы пытались определить количественные критерии оценки движения ликвора, обсуждалась методология исследования ликворной системы. Самые первые данные, полученные с помощью ФКМРТ, революционизировали устоявшиеся в медицине представления о ламинарном одностороннем движении ликвора. Было показано, что для потока ликвора характерно пульсирующее разнонаправленное движение, зависящее от анатомических особенностей ликворосодержащих пространств [9–13].

Движение ликвора имеет сложный пульсирующий характер, связанный с сердечной деятельностью. Измерение количественных показателей ликворотока необходимо при многих патологических состояниях ликворной системы. Наиболее значимые эти данные явились у больных с различными формами гидроцефалии и при до- и постоперационном контроле данных ликворотока при патологии Арнольда–Киари.

В случаях окклюзионной гидроцефалии ликвороток в водопроводе мозга снижен до минимальных значений. Этим больным проводились исследования до и после операции для контроля состоятельности и значимости проведенной ликворостомы (рис. 7).

С каждым годом растет количество шунтирующих операций для восстановления нормальной физиологии и функционирования ликвора. Однако при подготовке к шунти-

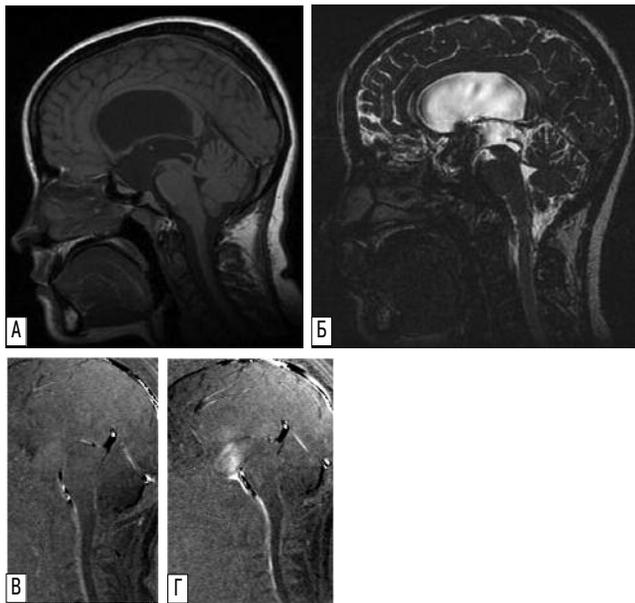


рис. 7: Сагиттальная МРТ в режиме T1 (А) демонстрирует окклюзию каудальных отделов водопровода мозга. Имеется выраженное расширение просвета водопровода, боковых и 3-го желудочков. Сагиттальная МРЦГ (Б) на основе FSS демонстрирует ликворную пульсовую волну, распространяющуюся из передних отделов 3-го желудочка через проведенную III вентрикулоустому в переднюю цистерну моста. При сравнении сагиттальных ФКМРТ до (В) и после (Г) операции визуализируется значительное увеличение ликворотока в области фистулы, что также подтвердилось при расчете количественных показателей ликворотока.

рующей операции существует ряд проблем: например, прогноз результатов операции и отбор пациентов для таких операций, а также выбор клапана для шунтирующей системы. Статистический анализ большого клинического материала показал, что проведение шунтирующих операций при гидроцефалии не является безопасной процедурой – более 10% людей, которым была выполнена шунтирующая операция, страдают от синдрома гипердренирования, либо от закупорки шунтирующей системы. При нарушении функционирования шунтирующей системы нередки летальные исходы. Особенно затруднен прогноз операций внутреннего шунтирования – эндоскопическая перфорация дна 3-го желудочка [14, 15].

При открытых формах гидроцефалии, как правило, наблюдается гиперпульсация ликвора в водопровode мозга, задних отделах 3-го желудочка, в 4-м желудочке, большой затыл-

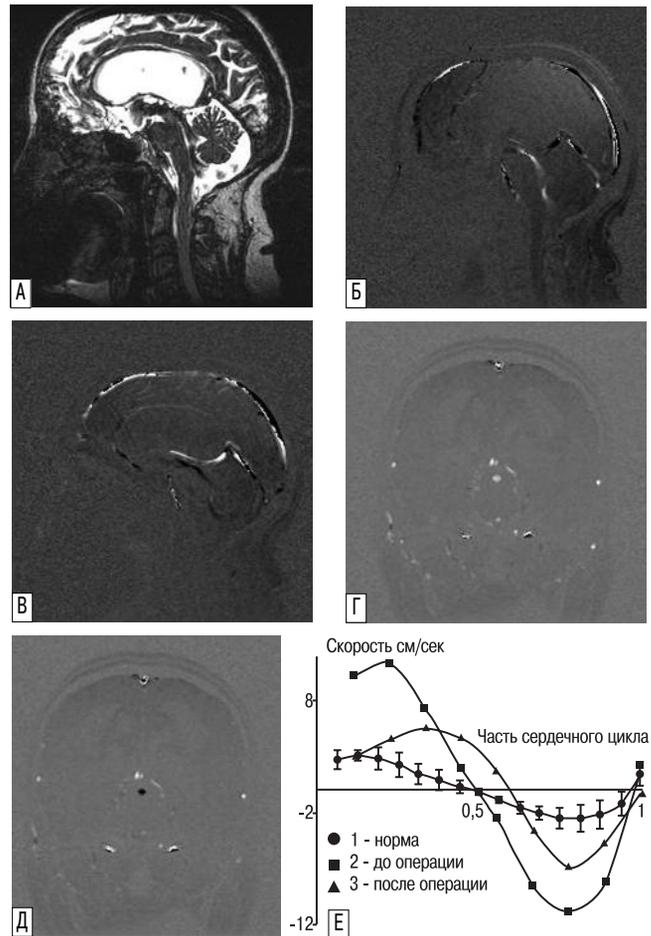


рис. 8: Открытая форма гидроцефалии. Сагиттальная МРЦГ(А) демонстрирует гиперпульсацию ликвора в полостях 3-го и 4-го желудочков, водопровode мозга, большой затылочной цистерне. Данные сагиттальной ФКМРТ в систолу (Б) и диастолу (В) показывают изменения МР-сигнала от разнонаправленного тока ликвора в водопровode мозга. Расчетные ФКМРТ через водопровод мозга (Г) и (Д) с графическим отражением результатов (Е).

лочной цистерне и отверстиях Монро. При наиболее «злокачественной» посттравматической гидроцефалии показатели ликворотока могут превышать значения нормальных показателей объемного ликворотока в десятки раз. Увеличение ударного объема имеет четкую корреляцию с площадью поперечного сечения водопровода мозга, которая также значительно увеличивается. В таких случаях для планирования и кодирования скорости потока VENC всегда

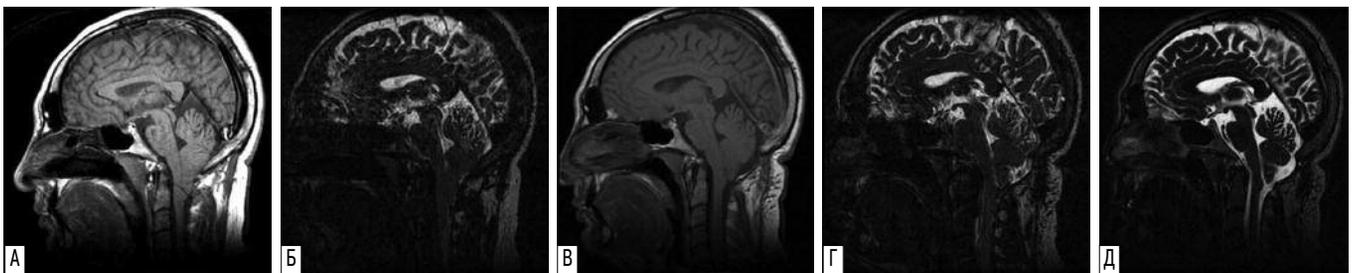


рис. 9: Патология Арнольда–Киари. На сагиттальных МРТ в режиме T1 (А) и МРЦГ (Б) до операции миндалики мозжечка пролабируют в БЗО до уровня С2, полость большой затылочной цистерны и верхнее субарахноидальное пространство спинного мозга сдавлены. На подробных томограммах после операции (В, Г) и при МРЦГ на основе T2 (Д) нижний край миндаликв располагается на уровне БЗО, открылся просвет БЗЦ, в полости которой отмечается пульсация ликвора, освободились отверстия Моханди и Люшка, четко визуализируется субарахноидальное пространство спинного мозга.

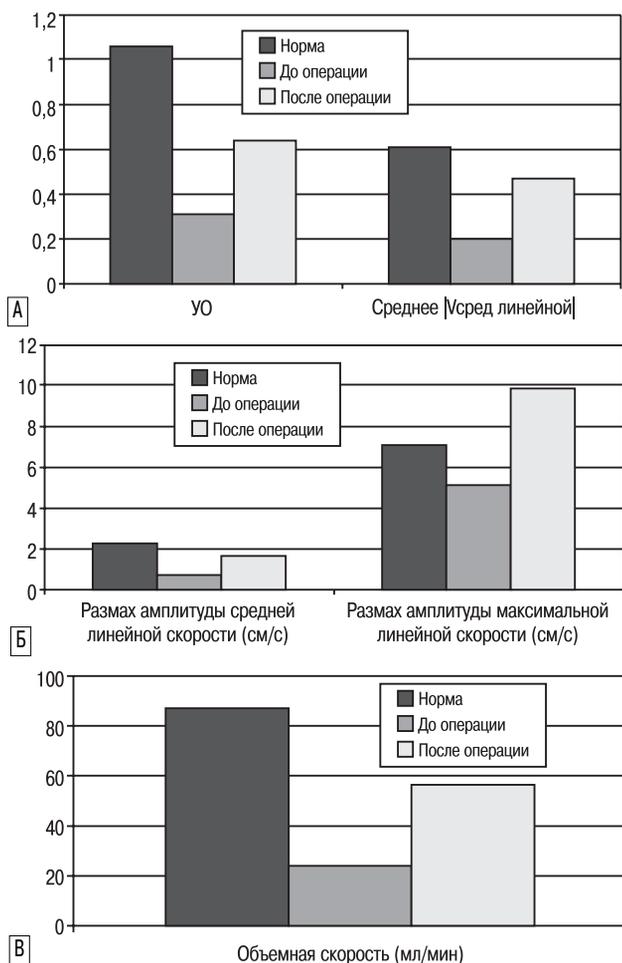


рис. 10: Сравнение ударного объема и средней линейной скорости (А), размаха амплитуды линейной скорости и размаха амплитуды максимальной линейной скорости (Б), объемной скорости (В) на уровне краниоцервикального сочленения в норме и при мальформации Арнольда–Киари I до и после операции.

проводится сагиттальная МРЦГ на основе FSS, позволяющая предварительно оценить степень гиперпульсации ликвора (рис. 8). По этой же томограмме планируется аксиальная расчетная ФКМРТ на уровне передней трети водопро-

вода мозга перпендикулярно его просвету. Дополнительно на этом же уровне проводится аксиальная томография в режиме T1 высокого разрешения для более точного расчета площади поперечного сечения водопровода мозга. Эти исследования мы проводим большим посттравматической гидроцефалией до шунтирования, сразу после операции и в динамике с интервалом через сутки, до 2-х недель после шунтирования. Показатели линейного и объемного ликворотока, а также площадь поперечного сечения, значительно превышающие до шунтирования нормальные значения, существенно снижались, и эта тенденция сохранялась в раннем послеоперационном периоде.

Патология Арнольда–Киари является одной из основных проблем, требующих изучения ликворотока [16, 17]. С патологией Арнольда–Киари проводится МРТ в стандартных режимах и режимах МРЦГ на основе FSE и T2 до и после операции. ФКМРТ проводится на уровне С3 до и после операции. Постооперационные данные сравниваются с нормальными значениями ликворотока на уровне С2–С3, полученными у здоровых добровольцев (рис. 9).

В результате наших исследований были получены результаты, отраженные на графиках (рис. 10). Исходя из полученных данных, следует, что у больных мальформацией Арнольда–Киари I, ударный объем, размах амплитуды средней линейной и максимальной линейной скоростей, размах амплитуды объемной скорости, средняя линейная и объемная скорости на краниоцервикальном уровне достоверно ниже, чем в норме. После проведенного оперативного лечения отмечается достоверное повышение всех параметров ликворотока до нормального уровня.

Методы МРМГ и МРЦГ могут успешно заменить инвазивные методики визуализации ликворных пространств головного и спинного мозга. ФКМРТ эффективна в выявлении степени открытой формы гидроцефалии и постооперационного контроля 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 и располагающиеся в просвете ликворной системы, «пустое» седло, различные виды ликвореи, аномалии развития мозга, вентрикулостомы, постооперационные скопления ликвора, конвекситальные гигромы.

Список литературы

1. Birchall D., Connelly D., Walker L. et al. Evaluation of magnetic resonance myelography in the investigation of cervical spondylotic radiculopathy. Br. J. Radiol. 2003; 76: 525–531.
2. Ferrer P., Mart-Bonmat L., Molla E. et al. MR-myelography as adjunct to the MR examination of the degenerative spine. MAGMA 2004; 16: 203–210.
3. Miller G., Krauss W. Myelography: still the gold standard. AJNR 2003; 24: 298.
4. Eberhardt K., Hollenbach H., Deimling M. et al. MR cisternography: a new method for diagnosis of CSF fistulae. Eur. Radiol. 1997; 7–9: 1485–1491.
5. Aydin K., Guven K., Sencer S. et al. MRI cisternography with gadolinium-containing contrast medium: its role? Advantages and lim-

- itations in the investigation of rhinorrhea. Neuroradiol. 2004; 46: 75–80.
6. 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.
7. Holodny A., Kornienko V., Aroutiunov N. et al. Aqueductal stenosis leading to herniation of the frontal horn of the lateral ventricle into the frontal sinus. J. Comp. Assisted Tomogr. 1997; 21: 5: 837–839.
8. Kornienko V., Aroutiunov N., Petraikin A. et al. FLAIR application with CSF spaces contrasting for diagnosis of rhinorrhea in compare with CT. В материалах 17th Ann. Meeting Eur. Society 2000.

9. *Edelman R., Wedeen V., Davis K. et al.* Multiphasic MR imaging: a new method for direct imaging of pulsatile CSF flow. *Radiol.* 1986; 161 (3): 779–783.
10. *Enzmann D., Pelc N.* Normal flow patterns of intracranial and spinal cerebrospinal fluid defined with phase-contrast cine MR imaging. *Radiol.* 1991; 178 (2): 467–474.
11. *Enzmann D., Pelc N.* Cerebrospinal fluid flow measured by phase-contrast cine MR. *AJNR* 1993; 14 (6): 1301–1310.
12. *Nitz W., Bradley W., Watanabe A. et al.* Flow dynamics of cerebrospinal fluid: assessment with phase-contrast velocity MR imaging performed with retrospective cardiac gating. *Radiol.* 1992; 183: 2: 395–405.
13. *Lisanti C., Carlin C., Banks K. et al.* Normal MRI appearance and motion-related phenomena of CSF. *AJR* 2007; 188: 716–725.

14. *Stoquart-El Sankari S., Lehmann P., Gondry-Jouet C. et al.* Phase-Contrast MR Imaging Support for the Diagnosis of Aqueeductal Stenosis. *AJNR* 2009; 30: 209–214.
15. *Stivaros S., Sinclair D., Bromiley P.* Endoscopic Third Ventriculostomy: Predicting Outcome with Phase-Contrast MR Imaging. *Radiol.* 2009; 252: 25–832.
16. *Haughton V., Korosec F., Medov J. et al.* Peak systolic and diastolic CSF velocity in the foramen magnum in adult patients with Chiari I malformations and in normal control participants. *Am. J. Neuroradiol.* 2003; 24: 169–176.
17. *Haughton V., Iskandar B.* Measuring CSF flow in Chiari I malformations. *The Neuroradiol. J.* 2006; 19: 427–43.

Modern methods of investigation CSF pathology

N.V. Arutyunov, V.N. Kornienko, L.M. Fadeeva, F.R. Mamedov

Burdenko Neurosurgery Institute, RAMS, Moscow

Key words: Magnetic Resonance Myelography, Magnetic Resonance Cisternography, phase-contrast MRI, CSF flow, Arnold-Chiari malformation.

Modern MRI (Magnetic Resonance Imaging) programme support modification more and more often makes a radiologist to refuse the invasive techniques in favour of more safe methods like Magnetic Resonance Myelography, Magnetic Resonance Cisternography, combination of CT and MR-cisternography. To evaluate CSF flow and obtain quantitative characteristics of linear and regional CSF flow the method of phase-contrast MRI is used. Today these methods have become a routine practice and may be indicated for all patients with the corresponding CSF system pathology. The spectrum of diagnoses is rather large: all types of hydrocephalus, arachnoid cysts, midline tumours and

tumors located in the CSF lumen, «empty» saddle, different types of CSF leakage, Arnold-Chiari malformations, anomalous development of the brain and brain ventricles, ventriculostoma (artificial and spontaneous), postoperative CSF collections, convexital hygromas. Magnetic Resonance Myelography and Magnetic Resonance Cisternography can successfully replace the invasive methods of visualization of cerebral and spinal CSF spaces. Phase-contrast MRI has proved to be efficient in demonstrating open hydrocephalus and providing postoperative control in Arnold-Chiari malformations.

Контактный адрес: Никита Викторович Арутюнов – к. м. н., ст. науч. сотрудник НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, отделение рентгенодиагностических методов диагностики и лечения. E-mail: arut@nsi.ru;

В.Н. Корниенко – д. м. н., проф., академик РАМН, руководитель отделения рентгенодиагностических методов диагностики и лечения НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН;

Л.М. Фадеева – инженер-математик отделения рентгенодиагностических методов диагностики и лечения НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН;

Ф.Р. Мамедов – аспирант отделения рентгенодиагностических методов диагностики и лечения НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН.