

Комплексная многоуровневая оценка параметров ликвородинамики у пациентов с аномалией Арнольда — Киари 1

О. Б. Богомякова*,¹, Л. А. Шрайбман¹, Ю. А. Станкевич¹, А. А. Тулунов^{1,2}

ФГБУН «Институт «Международный томографический центр»
Сибирского отделения РАН, Новосибирск

Complex multilevel assessment of cerebrospinal fluid flow in patients with Arnold — Chiari 1 malformation

O. B. Bogomyakova, L. A. Shraybman, Yu. A. Stankevich, A. A. Tulupov

Реферат

Проведено исследование с использованием фазоконтрастной магнитно-резонансной томографии с возможностью количественной оценки потока (методика Q-Flow). В исследование включены группы из 60 здоровых добровольцев и 12 пациентов с аномалией Арнольда — Киари 1. Получены значения линейной, объемной и пиковой скоростей потоков ликвора на шейном и внутричерепном уровнях. Результаты указывают на значимость комплексной многоуровневой оценки ликвородинамики и позволяют по-новому взглянуть на данную систему как на единое целое, со своими взаимосвязями и законами взаимодействия.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография (МРТ), центральная нервная система, цереброспинальная жидкость.

Abstract

Were examined with phase contrast MRI retrospectively cardiac triggered (Q-Flow technique). 60 healthy volunteers and 12 volunteers with the anomaly of Arnold — Chiari 1 were investigated. Mean velocity, mean flux and peak velocity values of CSF flow at the cervical and intracranial levels were defined. Our findings show the importance of multimodality multilevel cerebrospinal fluid flow assessment and allows to look at this system as a single whole, with their relationships and interaction laws.

Key words: magnetic resonance imaging (MRI), central nervous system, cerebrospinal fluid.

Актуальность

Аномалия развития мозга Арнольда — Киари 1 характеризуется расположением миндалин мозжечка в верх-

ней части шейного отдела спинного канала (ниже большого затылочного отверстия). Такое положение миндалин

* **Богомякова Ольга Борисовна**, младший научный сотрудник лаборатории медицинской диагностики ФГБУН «Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения РАН.
Адрес: 63090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. За.
Тел.: +7 (383) 330-69-26.
Электронная почта: bogom_o@tomo.nsc.ru

препятствует нормальной циркуляции ликвора на уровне большого затылочного отверстия (БЗО). Предполагается, что измененная ликвородинамика при аномалии Арнольда — Киари 1 может вызывать развитие таких неврологических признаков и симптомов, как, например, сириngoмиелия, кисты в спинном мозге, а также может ассоциироваться с внутричерепной гипертензией и гидроцефалией [2].

Теоретически опущение миндалин мозжечка ниже БЗО изменяет параметры ликвородинамики, особенно в течение фаз сердечного цикла с максимальным интракарниальным антеградным или ретроградным потоком ликвора. Подобные изменения ликвородинамики уже были отмечены в некоторых предыдущих исследованиях [1, 3, 4].

Учитывая сложный характер пульсации ликвора в условиях нормы (наличие потока, состоящего из антеградной и ретроградной составляющих, а также наличие завихрений, боковых и турбулентных компонентов), необходима комплексная оценка параметров ликвородинамики. Поток ликвора при аномалии Арнольда — Киари 1 имеет еще более сложную модель, поскольку миндалины мозжечка вызывают обструкцию на уровне БЗО и соответственно нарушается комплексная «нормальная» модель циркуляции ликвора [4].

Использование такой современной методики, как фазоконтрастная МРТ, которая позволяет не только качественно, но и количественно оценивать параметры потока биологических жидкостей, может значительно расширить понимание особенностей течения потока ликвора на этом уровне [5]. Кроме того, становится возможной комплексная оценка параметров на нескольких

смежных уровнях для полной характеристики происходящих процессов.

Ограничением этой методики является достаточно длительное время получения изображений, однако путем модификации заданных параметров можно сократить время, не потеряв в качестве МР-изображений. Еще одна сложность состоит в том, что получить изображение потока можно только в плоскости одного среза, который не обязательно будет совпадать с уровнем наиболее выраженного нарушения ликворотока. Вместе с этим срез в аксиальной плоскости отражает только вектор перпендикулярного потока, теряя данные о боковых и турбулентных компонентах [6]. В перспективе решить эту проблему можно путем создания помимо не только плоскостных моделей, но и 3D-моделей для нескольких смежных уровней.

Цель: комплексно охарактеризовать поток ликвора на протяжении сердечного цикла в условиях аномалии Арнольда — Киари 1 на интракраниальном и шейном уровнях.

Материалы и методы

В исследование включены 72 пациента, которые были разделены на две группы:

- здоровые лица (60 человек) без неврологических нарушений в анамнезе и неврологическом статусе, без МР-признаков нарушения церебральной гемодинамики и ликвороциркуляции, а также без МР-данных за объемное или очаговое поражение ткани головного мозга (группа контроля);
- пациенты с аномалией Арнольда — Киари 1 (12 человек), у которых выявлено опущение миндалин мозжечка ниже БЗО более чем на 5 мм (рис. 1).

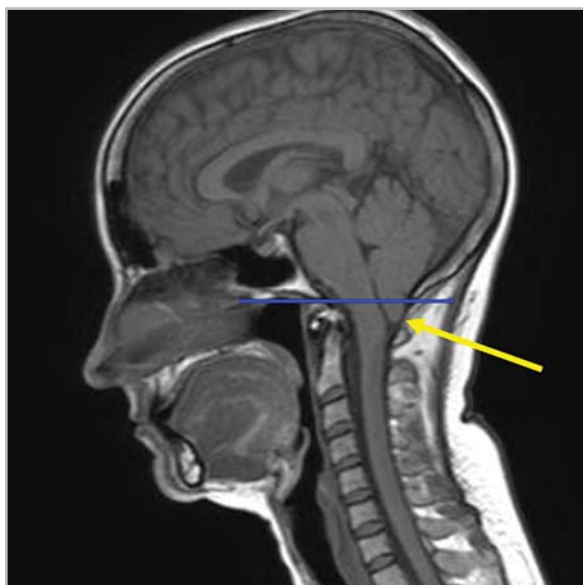


Рис. 1. Положение миндалин мозжечка при аномалии Арнольда — Киари 1

Процедура обследования здоровых лиц с целью получения необходимого материала всегда начиналась с беседы, в которой волонтер подробно знакомился с предстоящей ему программой обследования и значимостью полученных результатов.

Процедура привлечения к обследованию была построена строго в соответствии с международными требованиями, которые включают в себя информированность обследуемого, согласие его на проведение обследования в полном объеме и обеспечение конфиденциальности. Все исследования соответствовали этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Минздрава России от

19.06.2003 г. № 266. Кроме того, исследования проводились под контролем локального этического комитета ФГБУН «Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения РАН (Новосибирск).

Все обследования были выполнены на МР-томографе Achieva (Philips, Голландия) напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Изначально проводилось рутинное обследование, которое включало стандартные T1- и T2-ВИ, методику с подавлением сигнала от свободной жидкости (FLAIR), бесконтрастные МР-миелографию и ангиографию. Далее выполнялось 5 последовательностей фазоконтрастной МРТ (ФК-МРТ) для 5 различных уровней. Параметры методики: толщина среза — 4 мм; кодирующий коэффициент скорости потока — 15 см/с — для уровня Сильвиева водопровода, 5 см/с — для IV желудочка, 10 см/с — для отверстия Мажанди, БЗО и шейного уровня; время сканирования — 2 мин 47 с.

Оценивались средняя для одного сердечного цикла, объемная, средняя и пиковая скорости потока на уровне Сильвиева водопровода, IV желудочка мозга, отверстия Мажанди, субарахноидального пространства большого затылочного отверстия и шейного уровня (С2 — С3). Срезы для получения скоростных изображений располагались наиболее перпендикулярно току ликвора по ходу выбранной структуры на сагиттальном T1-ВИ (рис. 2).

Данные были обработаны с расчетом среднего значения и доверительного интервала.

С использованием t-критерия Стьюдента было проведено сравнение параметров антеградного и ретроградного потоков ликвора, а также комплексный



Рис. 2. Ориентация срезов при исследовании ликворотока: силвиев водопровод — 1, IV желудочек — 2, отверстие Мажанди — 3, БЗО — 4, шейный уровень — 5

анализ параметров ликвородинамики в условиях нормы и патологии.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые уровни были скомбинированы в единую топографическую систему, отражающую ликворопродукцию внутрижелудочковых сосудистых сплетений и эвакуацию ликвора в субарахноидальное пространство спинального канала через большое затылочное отверстие.

У пациентов с аномалией Арнольда — Киари 1 наблюдалось опущение миндалин мозжечка ниже большого затылочного отверстия в среднем на $6,64 \pm 1,16$ мм. При этом у 3 пациентов из 12 была выявлена сирингомиелитическая полость в спинном мозге в среднем на протяжении до 4 см. У здоровых добровольцев миндалины находились выше

линии Мак-Рея, не были заострены и не блокировали поток ликвора на уровне БЗО. Не было найдено никаких аномалий в задней черепной ямке или спинальном канале.

ФК-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).

Результаты представлены в виде комплексных графических изображений динамического изменения параметров ликвородинамики на исследуемых уровнях в условиях нормы и аномалии Арнольда — Киари 1 с указанием достоверности различий между средними значениями скоростных параметров группы контроля (рис. 3–5).

В ходе исследования было отмечено, что антеградный и ретроградный потоки являются зеркально симметричными, имеют симфазный ход в условиях нормы с преобладанием значений антеградного потока ликвора (наиболее достоверно для линейной и объемной скоростей потока) ($p < 0,01$).

Для пиковой скорости потока достоверных различий найдено не было. Это может быть связано с тем, что сама по себе пиковая скорость отражает наиболее высокие значения потока ликвора в течение сердечного цикла, которые по модулю могут незначительно различаться для обоих направлений.

В условиях аномалии Арнольда — Киари 1 отмечается преобладание значений антеградного потока над ретро-

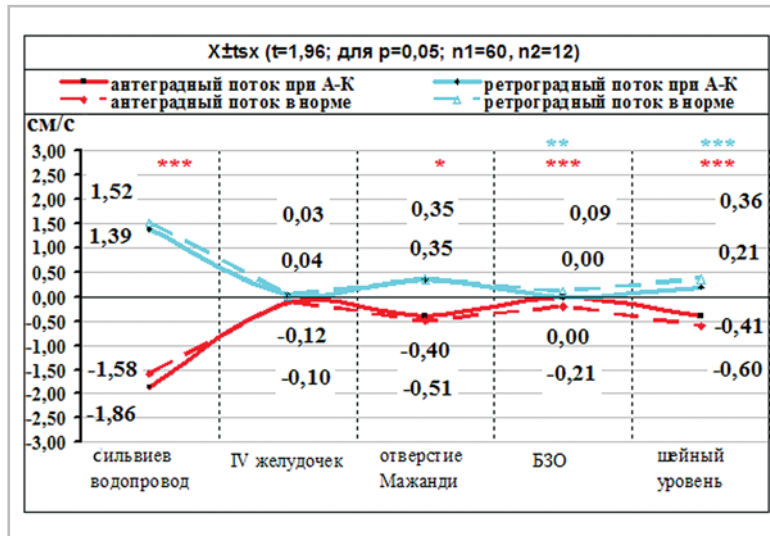


Рис. 3. Характер изменения линейной скорости потока (см/с) ликвора в условиях нормы и при аномалии Арнольда — Киари 1

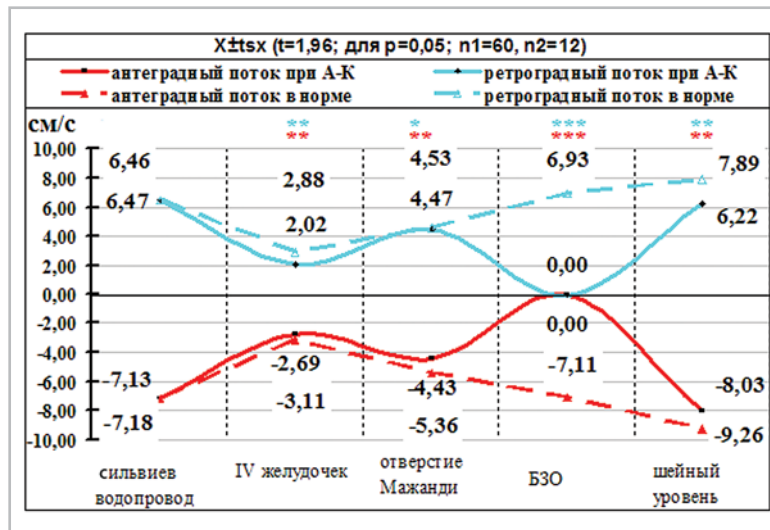


Рис. 4. Характер изменения объемной скорости потока (мл/с) ликвора в условиях нормы и при аномалии Арнольда — Киари 1

градным для всех скоростей, наиболее достоверно на уровне сильвиева водопровода, IV желудочка и на шейном уровне. Достоверность значений теряется на уровне БЗО и отверстия Мажанди, что связано с принципиальным нарушением параметров циркуляции ликвора на этих уровнях в связи с локальной окклюзией.

Полученные данные говорят о том, что ликвор движется преимущественно в краниокаудальном направлении, совершая при этом пульсирующие движения, зависящие от пульсации крупных артериальных сосудов головного мозга [2, 3].

Такая пульсация, вероятнее всего, обеспечивает активное перемешивание

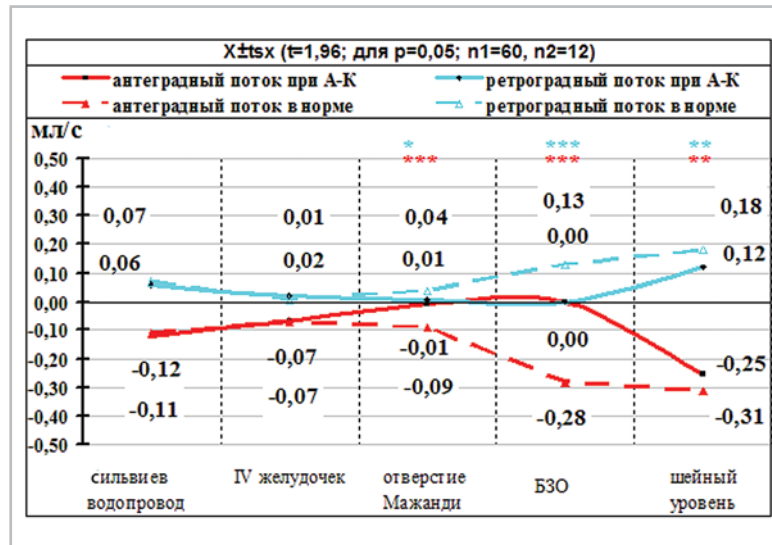


Рис. 5. Характер изменения пиковой скорости потока (см/с) ликвора в условиях нормы и при аномалии Арнольда — Киари 1

ликвора и соответственно позволяет ему равномерно «обтекать» ткани головного мозга, что, в свою очередь, помогает обеспечивать функции ликворной системы.

Анализ различий между средними значениями потока ликвора показал, что наиболее высокие значения определяются на уровне сильвиева водопровода и на шейном уровне для всех скоростей у лиц группы контроля. В группе пациентов определяется уменьшение значений антеградного и ретроградного потоков ликвора на уровне заднего субарахноидального пространства БЗО, вплоть до нулевых (поток ликвора на этом уровне достоверно не определяется). При этом отмечается компенсаторное увеличение параметров на смежных уровнях (отверстие Мажанди и шейный уровень). Эти данные говорят о том, что опущение миндалин мозжечка приводит к нарушению параметров ликворциркуляции не только на уровне БЗО, но и на смежных уровнях, что требует комплексного обследования пациентов

для решения вопроса о тактике лечения, для выяснения компенсаторных возможностей организма, например, за счет базальных цистерн головного мозга.

Заключение

Это исследование иллюстрирует возможности использования ФК-МРТ в оценке количественных параметров потока ликвора в условиях нормы и при аномалии Арнольда — Киари 1. 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 клинически актуально для неврологов и нейрохирургов при планировании терапевтического и хирургического лечения.

В дальнейшем планируется исследование параметров ликвородинамики с использованием 3D-ФК-МРТ и компьютерных 3D-моделей, для оценки суммарного потока ликвора с учетом не только перпендикулярного вектора потока, но и турбулентных (переднезадней и боковой компоненты).

Данные ФК-МРТ в условиях аномалии Арнольда — Киари 1 могут быть полезны для оценки и наблюдения в динамике пациентов с проведенной декомпрессией краниовертебрального перехода, а также для решения вопроса о планировании оперативного лечения (для установления степени компенсации или декомпенсации).

Список литературы

1. Арутюнов Н. В., Корниенко В. Н., Реутов А. А. и др. Особенности ликвотока на верхнешейном уровне в норме и у больных мальформацией Киари 1 // Вестн. рентгенологии и радиологии. 2009. № 4. С. 37–42.
2. Oldfield E., Muraszko K., Shewker T. et al. Pathophysiology of syringomyelia associated with Chiari I malformation of the cerebellar tonsils // Neurosurg. 1994. V. 80. № 3. P. 15–17.
3. Bhadelia R. A., Bogdan A. R., Wolpert S. M. et al. Cerebrospinal fluid flow waveforms: analysis in patients with Chiari I malformation by means of gated phase-contrast MR imaging velocity measurements // Radiol. 1995. V. 196. P. 195–202.
4. Haughton V., Korosec F., Medow J., Dolar M. et al. Peak systolic and diastolic CSF velocity in the foramen magnum in adult Chiari I patients and normal subjects // Am. J. Neuroradiol. 2003. V. 24. P. 169–176.
5. Milhorat T. H., Chou M. W., Trinidad E.M. et al. Chiari I malformation redefined: clinical and radiographic findings for 364 symptomatic patients // Neurosurg. 1999. V. 44. P. 1005–1017.
6. Roldan A., Wieben O., Haughton V. et al. Characterization of CSF hydrodynamics in the presence and absence of tonsillar ectopia by means of computational flow analysis // Am. J. Neuroradiol. 2009. V. 30. P. 941–946.