

Перепелова Е.М.<sup>1</sup>, Перепелов В.А.<sup>1,2</sup>, Меркулова М.С.<sup>2</sup>, Сеницын В.Е.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет

им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия;

<sup>2</sup>ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования» Минздрава России, Москва, Россия;

<sup>3</sup>ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>1</sup>119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2; <sup>2</sup>125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1;

<sup>3</sup>125367, Москва, Ивановское шоссе, 3

## Современные подходы к диагностике с помощью магнитно-резонансной томографии эпилептогенных и сопряженных с ними поражений головного мозга

С развитием современных методов нейровизуализации их роль в диагностике эпилепсии становится все более значительной и заключается не только в выявлении патологии, играющей ключевую роль в эпилептогенезе, но и в содействии врачу-клиницисту в последующей формулировке диагноза, коррекции медикаментозной терапии, а в некоторых случаях — в решении вопроса о хирургическом лечении пациента. Приоритетной методикой в данном случае является магнитно-резонансная томография (МРТ), обладающая высокой чувствительностью и специфичностью в отношении локализации мелких и более крупных нарушений структуры головного мозга, а также включающая набор современных последовательностей, позволяющих получать важную диагностическую информацию о функциональном состоянии головного мозга. В настоящей статье освещены рекомендации Международной противоэпилептической лиги по проведению МРТ у пациентов с подозрением на эпилепсию, оценено назначение и дана краткая характеристика как структурных, так и функциональных импульсных последовательностей, наиболее часто включаемых в эпилептологический протокол. Рассмотрены основные патологические процессы и дана оценка анатомо-функциональных изменений структуры головного мозга, играющих важную роль в эпилептогенезе.

**Ключевые слова:** эпилепсия; магнитно-резонансная томография; эпилептологический протокол; современные нейровизуализационные методики.

**Контакты:** Всеволод Андреевич Перепелов; [vsevolod.perepelov@gmail.com](mailto:vsevolod.perepelov@gmail.com)

**Для ссылки:** Перепелова ЕМ, Перепелов ВА, Меркулова МС, Сеницын ВЕ. Современные подходы к диагностике с помощью магнитно-резонансной томографии эпилептогенных и сопряженных с ними поражений головного мозга. Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2018;(спецвыпуск 1):4-11.

### *Current approaches to magnetic resonance imaging diagnosis of epileptogenic and associated lesions of the brain*

*Perpelova E.M.<sup>1</sup>, Perpelov V.A.<sup>1,2</sup>, Merkulova M.S.<sup>2</sup>, Sinitsyn V.E.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>I.M. Sechenov First Medical State University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>Federal Treatment and Rehabilitation Center, Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

<sup>1</sup>8/2, Trubetskaya St., Build. 2, Moscow 119991; <sup>2</sup>2/1, Barrikadnaya St., Moscow 125993; <sup>3</sup>3, Ivan'kovskoe Shosse, Moscow, 125367

With the development of current neuroimaging techniques, their role in diagnosing epilepsy is becoming more significant and that is not only in identifying the disease that plays a key role in epileptogenesis, but also in assisting a clinician in the subsequent formulation of the diagnosis, in correcting drug therapy, and, in some cases, in addressing the issue of surgical treatment in the patient. The priority technique in this case is magnetic resonance imaging (MRI) that has high sensitivity and specificity in defining the location of minor and more major lesions of the brain structure and that includes a set of current sequences that can obtain important diagnostic information about the functional state of the brain. This article highlights the International League Against Epilepsy guidelines for MRI in patients with suspected epilepsy, assesses the use of and briefly characterizes both structural and functional pulse sequences that are most commonly included in the epileptological protocol. It considers major pathological processes and evaluates anatomical and functional changes in the brain structure, which play an important role in epileptogenesis.

**Keywords:** epilepsy; magnetic resonance imaging; epileptologic protocol; current neuroimaging techniques.

**Contact:** Vsevolod Andreevich Perepelov; [vsevolod.perepelov@gmail.com](mailto:vsevolod.perepelov@gmail.com)

**For reference:** Perpelova EM, Perpelov VA, Merkulova MS, Sinitsyn VE. Current approaches to magnetic resonance imaging diagnosis of epileptogenic and associated lesions of the brain. *Nevrologiya, Neiropsikhiatriya, Psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2018;(Special Issue 1):4-11.

**doi:** 10.14412/2074-2711-2018-IS-4-11

Широкая распространенность эпилепсии в популяции позволяет отнести диагностику данного патологического состояния к числу приоритетных проблем современной медицины. Перед врачом лучевой диагностики стоит задача определения полного спектра изменений структуры головного мозга, их локализации, протяженности и характера повреждения, что необходимо для постановки синдромального диагноза, формулирования прогноза развития заболевания, формирования стратегии и тактики лечения, а также социального прогноза для пациента и его семьи.

Активное развитие медицинских технологий, в том числе в области лучевой диагностики, привело как к разработке новых магнитно-резонансных томографов с высокой напряженностью магнитного поля, позволяющих осуществлять высокоточную диагностику причин, приведших к возникновению данного патологического состояния, так и к появлению на свет новых методик обследования (импульсных последовательностей), предоставляющих дополнительную важную диагностическую информацию не только о морфологическом изменении структуры головного мозга, но и о нарушении его функциональной активности даже на самых начальных этапах развития патологического процесса.

**Показания к проведению и методики, включаемые в эпилептологическое исследование с использованием магнитно-резонансной томографии**

С современных позиций, в большинстве случаев для формулировки точного диагноза применяется клиничко-электро-радиологический подход. Он основывается на приоритетности клинической картины, включающей сбор жалоб и анамнеза жизни и заболевания, проведение неврологического осмотра, нейропсихологического тестирования, а также регистрации биоэлектрической активности коры головного мозга с последующей оценкой результатов, которые в случае необходимости должны быть дополнены данными, полученными при проведении современных нейровизуализационных методик и помогающими выявить поражение головного мозга уже на самых ранних этапах его развития [1].

Высокая разрешающая способность в сочетании с высокой контрастностью при визуализации мягких тканей (в том числе головного мозга), наличие различных импульсных последовательностей, позволяющих оценивать широкий спектр функциональных и морфологических изменений головного мозга, возможность получения трехмерного изображения исследуемого объекта позволяют магнитно-резонансной томографии (МРТ) занимать ведущие позиции в диагностике эпилепсии [2].

Международная противоэпилептическая лига (International League Against Epilepsy – ILAE) рекомендует проведение эпилептологического МР-сканирования с использованием высокопольного томографа с напряженностью магнитного поля не менее 1,5 тесла [3], однако наиболее целесообразно использование МР-томографов с напряженностью магнитного поля 3,0 тесла. Использование такого оборудования позволяет повысить отношение сигнала, получаемого от тканей тела человека во время сканирования, к уровню фонового шума, неминуемо возникающего при получении МР-изображения. Повышение соотноше-

ния сигнал/шум позволяет получать изображения с высоким пространственным разрешением при меньшем времени сканирования пациента.

Специалистами ILAE были подготовлены и выпущены рекомендации, регламентирующие проведение МРТ у пациентов с эпилепсией. Следуя данным рекомендациям, в отсутствие urgentных ситуаций или наличия в теле пациента электронных устройств (кардиостимуляторы, протезы внутреннего и среднего уха и др.) или металлических конструкций, обладающих магнитными свойствами, МРТ является методикой выбора для обследования пациентов с подозрением на наличие данного патологического состояния. Согласно материалам, опубликованным ILAE, обследование показано в следующих случаях:

- наличие клинических или электроэнцефалографических (ЭЭГ-) признаков фокального начала приступов (в любом возрасте);
- возникновение неклассифицируемых или генерализованных судорог в течение первого года жизни или в зрелом возрасте;
- выявление фокального неврологического или нейропсихологического дефицита;
- сложности в купировании приступов при использовании противоэпилептической медикаментозной терапии первой очереди выбора;
- возобновление приступов при ранее успешном лечении или изменении паттерна судорог [3].

Следует также назначить проведение данного исследования в том случае, если первоначальная МРТ по специальной программе у пациента с подозрением на эпилепсию (далее – эпилептологическое МР-сканирование) не выявила каких-либо структурных отклонений, но приступы продолжают на протяжении нескольких лет; если уже проведенная ранее МРТ не отвечает высоким требованиям, предъявляемым к эпилептологическому МР-сканированию; также данное исследование назначается как составляющая предоперационного обследования у пациентов с планируемым хирургическим лечением эпилепсии.

На сегодняшний день не удалось достичь консенсуса в отношении оптимальных технических параметров эпилептологического протокола, позволяющих наиболее точно выявить повреждение головного мозга у пациентов с подозрением на эпилепсию [4].

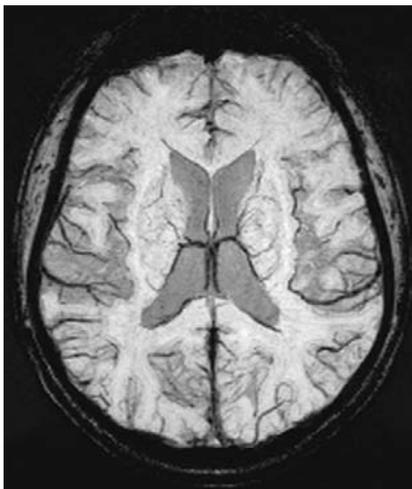
В эпилептологическое МР-сканирование должен входить весь спектр методик для наиболее полного и точного обследования пациента, включающий рутинные импульсные последовательности, применяемые специалистами лучевой диагностики в повседневной практике.

• **Взвешенные по T1 и T2 импульсные последовательности, в том числе последовательность с подавлением сигнала от свободной жидкости (FLAIR).** Использование указанных импульсных последовательностей позволяет оценить объем и форму структур, интенсивность сигнала, связанную с индивидуальным временем релаксации тканей головного мозга, а следовательно, дает возможность судить о наличии патологических изменений, приведших к структурным нарушениям, а использование последовательности с насыщением (отсечением) сигнала от свободной воды – FLAIR – позволяет более точно дифференцировать различные очаговые изменения паренхимы, такие как глиоз и отек, а также более четко оценить граничащие с ликворосодержащими

полостями (субпиальные, субэпендимальные) структуры [4, 5]. Данная импульсная последовательность, взвешенная по T2 и построенная во фронтальной плоскости, перпендикулярно оси гиппокампа, позволяет получить важную диагностическую информацию при обследовании пациента с подозрением на мезиальный темпоральный склероз (МТС) [4, 6].

- **Диффузионно-взвешенная импульсная последовательность (diffusion weighted image – DWI).** Данная функциональная методика является неотъемлемой частью МР-протокола как при рутинном обследовании головного мозга, так и при эпилептологическом сканировании. DWI позволяет получить данные об ограничении относительно свободной диффузии молекул воды в тканях организма (в том числе головного мозга), выявляемых при наличии вне- и внутриклеточного отека и участков с повышенной клеточностью, что делает ее незаменимым инструментом диагностики острых инфарктов, объемных образований и других патологических состояний, приводящих к ограничению свободного движения молекул воды [4, 5, 7].

- **Функциональную импульсную последовательность, взвешенную по неоднородности магнитного поля (susceptibility weighted image – SWI; рис. 1),** чувствительную к венозной крови, кровоизлияниям, отложению железа и наличию кальцинатов в ткани головного мозга, а также ряд методик, применяемых для получения дополнительной диагностической информации о структурном и функциональном состоянии головного мозга. Ориентированная на выявление неоднородности магнитного поля функциональная импульс-



**Рис. 1.** SWI – последовательность, взвешенная по неоднородности магнитного поля

ная последовательность или последовательность с получением изображений, взвешенных по магнитной восприимчивости, использует в качестве контрастного агента такие вещества, как дезоксигемоглобин, железо, кальций [4, 8]. В результате проведения SWI появляется возможность оценки архитектуры поверхностных вен и лучшего выявления продуктов метаболизма гемоглобина, микрокальцинатов, отложения парамагнетика, например меди или железа, а также для выявления мельчайших аномально развитых сосудов в веществе головного мозга. Данная последовательность может быть полезна в дифференциальной диагностике геморрагической имбибиии кортикальной пластинки и ламинарного кортикального некроза.

- **Диффузионно-тензорная импульсная последовательность (diffusion tensor imaging – DTI; рис. 2).** DTI – вариант диффузионно-взвешенной последовательности, позволяющей получить важную информацию о микроструктурной целостности тканей, а также визуализировать ход различных нервных волокон, составляющих белое вещество головного мозга. В основе метода лежит измерение диффузионной способности молекул воды в веществе головного мозга в различных направлениях. Диффузия воды протекает преимущественно вдоль аксонов, изолированных миелиновой оболочкой, которая практически непроницаема для молекул воды, что дает возможность косвенным образом судить об архитектонике и целостности волокон. Основными скалярными индексами, вычисляемыми из значений диффузионного тензора, являются *средняя диффузионная способность (mean diffusivity – MD)*, которая характеризует усредненное движение молекул в среде вне зависимости от направленности и зависит от размера и целостности клеток, а также *фракционная анизотропия (fractional anisotropy – FA)*. FA представляет собой величину от нуля до единицы, которая описывает степень анизотропии (ограниченности) диффузионного процесса, а именно – степень направленности структур и их целостность. Значение FA, равное нулю, означает, что диффузия изотропна, т. е. она не ограничена (или одинаково ограничена) во всех направлениях (наиболее близка к нулю в организме человека диффузия в цереброспинальной жидкости). Значение FA, равное единице, означает, что диффузия происходит только вдоль одной оси и полностью ограничена во всех других направлениях (наиболее близкие к единице значения у человека определяются в неповрежденных, высокоорганизованных структурах белого вещества – трактах головного мозга). Считается, что FA отражает плотность волокна, диаметр аксонов и сохранность миелина в белом веществе. Гибель клеток вследствие повреждающего процесса приводит к разрушению диффузионных барьеров, что приводит к увеличению MD и снижению FA. В последнее время DTI используют в оценке не только белого, но и серого вещества, в том числе гиппокампа, уязвимо к воздействию повреждающих факторов [9, 10].



**Рис. 2.** DTI – диффузионно-тензорная импульсная последовательность

• **MP-спектроскопия (MPC; magnetic resonance spectroscopy – MRS; рис. 3)** – методика, позволяющая *in vivo* получить данные о биохимическом составе тканей головного мозга. MPC является перспективным методом в повседневной диагностической практике и в научной работе по изучению эпилептогенеза, позволяющим неинвазивно измерить концентрацию метаболитов в веществе мозга. С помощью данной методики можно оценить величину и соотношение резонансных пиков спектров физиологических и патологических метаболитов головного мозга и тем самым получить представление о биохимическом составе его тканей. MPC может помочь дифференцировать схожие по виду поражения и обнаружить поражения вещества мозга в начальной стадии их развития, еще не приведшие к стойким изменениям структуры [5]. В повседневной практике наиболее часто применяется протонная ( $H^+$ ) MPC. Основными метаболитами, выявляемыми при проведении  $H^+$  MPC, являются: N-ацетил-аспартат (NAA) – нейрональный маркер, присутствующий в телах нейронов (снижение уровня NAA свидетельствует о повреждении или потере нейронов); креатинин (Cr) – маркер аэробного метаболизма клеток (снижается при опухолях, инфекциях, инсультах); холин (Cho) – компонент фосфолипидного метаболизма (маркер клеточных мембран), а также другие метаболиты, помогающие повысить специфичность диагностики различных патологических состояний [11, 12].

• **Трехмерная последовательность быстрого градиентного эха (MPRAGE).** MPRAGE, полученная за счет предварительного взвешивания намагниченности инвертирующим импульсом, является одной из наиболее часто используемых в эпилептологии импульсных последовательностей. Внешне она напоминает T1-импульсную последовательность (спиновое эхо), однако обладает лучшей контрастностью между серым и белым веществом и позволяет получать трехмерные изображения с высоким разрешением и возможностью последующей мультиплоскостной реконструкции, что помогает в выявлении мелкой патологии головного мозга и оценке толщины и демаркации кортикальной пластинки, а также индивидуальных особенностей развития головного мозга [4, 13].

• **Метод спиновой маркировки протонов артериальной крови (arterial spin labeling – ASL) – последовательность для определения перфузии (бесконтрастной) головного мозга (рис. 4).** ASL помогает неинвазивно дать качественную оценку мозгового кровотока (перфузии головного мозга), используя в качестве контрастного агента протоны водорода воды, входящие в состав артериальной крови. В случае применения пакета программ для постпроцессорной обработки появляется возможность количественной оценки перфузии головного мозга (в миллилитрах на 100 г вещества головного мозга в минуту) [13]. А. Yusuf Oney и соавт. [14] оценили достоверность методики pulsed ASL (pASL) в сравнении с контрастной МР-перфузией (методикой, основанной на регистрации прохожде-

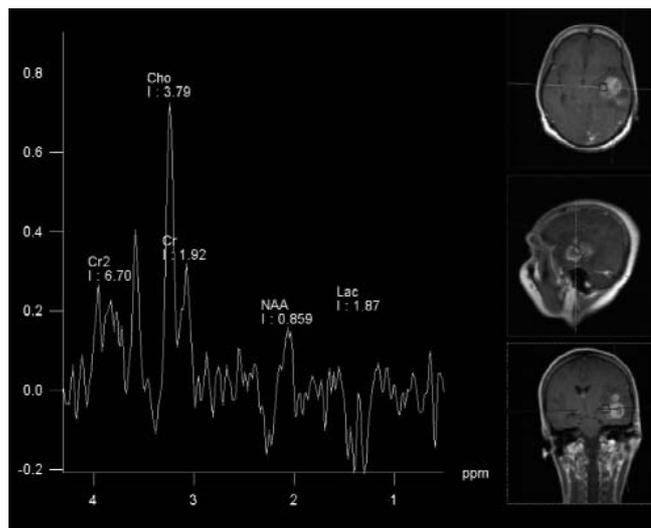


Рис. 3.  $H^+$  MPC – протонная ( $H^+$ ) магнитно-резонансная спектроскопия

ния болюса контрастного вещества по микроциркуляторному руслу головного мозга), путем выявления асимметрии перфузии мезиальных отделов височной доли при латерализации эпилептогенного очага у пациентов с медикаментозно резистентной височной эпилепсией. Было показано, что отношение мозгового кровотока (в миллилитрах на 100 г вещества головного мозга в минуту) у пациентов с височной эпилепсией было значительно ниже в пораженной височной области, чем на противоположной стороне, при проведении обеих методик, а при обследовании лиц из группы контроля статистически значимых различий в перфузии данных регионов выявлено не было. ASL может успешно выявлять асимметрию мозгового кровотока в межприступном периоде у пациентов с височной эпилепсией, помогая получить больше важной диагностической информации относительно локализации эпилептического фокуса. Данная методика находит все большее применение при обследовании пациентов детского возраста, а также пациентов со сниженной функцией почек (скорость клубочковой фильтрации <30 мл/мин) вследствие отсутствия необходимости введения в организм пациента контрастного агента, как при проведении контрастной МР-перфузии [13, 15].

• **Метод функциональной МРТ (фМРТ),** в основе которого лежит изменение параметров гемодинамики коры головного мозга в ответ на выполнение определенной задачи или определенного стимула [13]. По данным рекомендаций ILAE, метод может быть использован в пред- и послеоперационном исследовании у пациентов с разными типами височной эпилепсии и при экстраатемпоральной локализации эпилептического субстрата [3]. Основная цель фМРТ в предоперационном периоде заключается в определении латерализации функциональных зон головного мозга, в том числе центра речи и памяти,

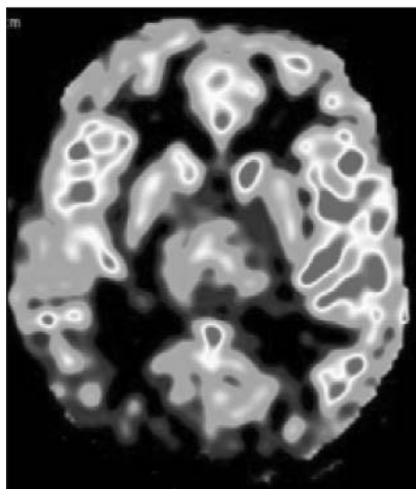


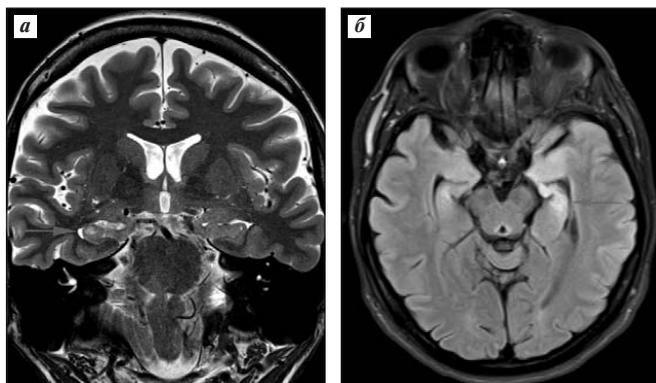
Рис. 4. ASL – метод спиновой маркировки протонов артериальной крови

у пациентов с височной эпилепсией, так как данная информация необходима хирургу для предотвращения осложнений в виде потери памяти и нарушения речи при оперативном лечении височной эпилепсии. В послеоперационном периоде фМРТ может предоставить информацию о наличии функционального дефицита после хирургического вмешательства [16]. Во многих научных работах авторы пришли к выводу, что применение фМРТ в предоперационном периоде может стать достойной альтернативой использованию интракаротидного амобарбиталового теста, хотя данный вопрос до сих пор остается предметом дискуссий. К сожалению, в связи с отсутствием стандартизированных протоколов проведения фМРТ у пациентов с разными типами эпилепсии, а также в связи с отсутствием многоцентровых исследований фМРТ не может быть включена в стандартизированный МР-протокол обследования пациентов с эпилепсией.

### Оценка анатомо-функциональных изменений структуры головного мозга, играющих важную роль в эпилептогенезе

Аномалии и пороки развития головного мозга (фокальная кортикальная дисплазия, полимикрогирия и др.) и сосудистой системы (кавернозная ангиома), пре-, интра- и постнатальное поражение центральной нервной системы (ЦНС) различного генеза (гипоксия, асфиксия, недоношенность и др.), нейрокутаные синдромы (туберозный склероз, синдром Стерджа–Вебера), острые нарушения мозгового кровообращения, инфекционные агенты (сифилис, цистицеркоз и др.) и различные объемные образования ЦНС (ганглиоглиома, дизэмбриопластическая нейроэпителиальная опухоль – ДНЭО – и др.) могут являться патоморфологическим субстратом эпилептогенеза [2, 3, 17].

При оценке распределения основных видов патологии головного мозга, играющих ключевую роль в эпилептогенезе и подвергающихся впоследствии хирургическому лечению, МТС встречается наиболее часто. Реже встречаются эпилептогенные опухоли, фокальные кортикальные дисплазии и другие нарушения структуры головного мозга [18].



**Рис. 5.** МТС у двух разных пациентов. Отмечаются редукция объема гиппокампа, компенсаторное расширение хориоидальной щели и височного рога бокового желудочка, нарушение нормальной структуры гиппокампа, повышение сигнала на T2- (а) и FLAIR- (б) импульсных последовательностях (глиоз)

### Височная эпилепсия

Склероз гиппокампа является самой частой причиной, обуславливающей височную эпилепсию, и выявляется примерно у половины пациентов, направляемых на хирургическое лечение. «Мезиальный темпоральный склероз (МТС)» – это специфический термин, обозначающий потерю нейронов гиппокампа (атрофию) в сочетании с глиозом. При данном патологическом состоянии визуализируются (рис. 5) редукция объема гиппокампа, компенсаторное расширение хориоидальной щели и височного рога бокового желудочка, граничащих с гиппокампом, нарушение его нормальной структуры, а также повышение сигнала на T2- и FLAIR-импульсных последовательностях (глиоз). В ряде случаев в патологический процесс вовлекаются и другие образования ипсилатеральной лимбической системы (энторинальная кора, миндалина и др.). Следует отметить, что лимбические структуры могут иметь повышенную интенсивность сигнала на FLAIR импульсных последовательностях, что при отсутствии должного опыта или сравнения с другими импульсными последовательностями может привести к постановке ошибочного диагноза. Трудности при постановке диагноза по данным МРТ могут возникнуть при двусторонней локализации процесса или при вторичном уменьшении объема гиппокампа и нарушении его структуры вследствие частых или продолжительных судорожных припадков. В ряде случаев (приблизительно 15%) может отмечаться сочетанное поражение височной доли – МТС и экстрагиппокампазная патология, наиболее часто – мальформация кортикальной пластинки (дисплазия, гетеротопия). Типичные изменения МРС при гиппокампаальном склерозе – это снижение пика NAA и повышение пиков Cr и Cho. В контралатеральном гиппокампе могут выявляться нормальные значения метаболитов или измененные в меньшей степени значения. В сравнении с двусторонними, односторонние изменения основных метаболитов по данным магнитно-резонансной спектроскопии при последующем оперативном лечении имеют хорошее прогностическое значение, в 82% случаев в послеоперационном периоде удается достичь полного отсутствия приступов или значительного уменьшения их частоты и выраженности [6, 13, 18].

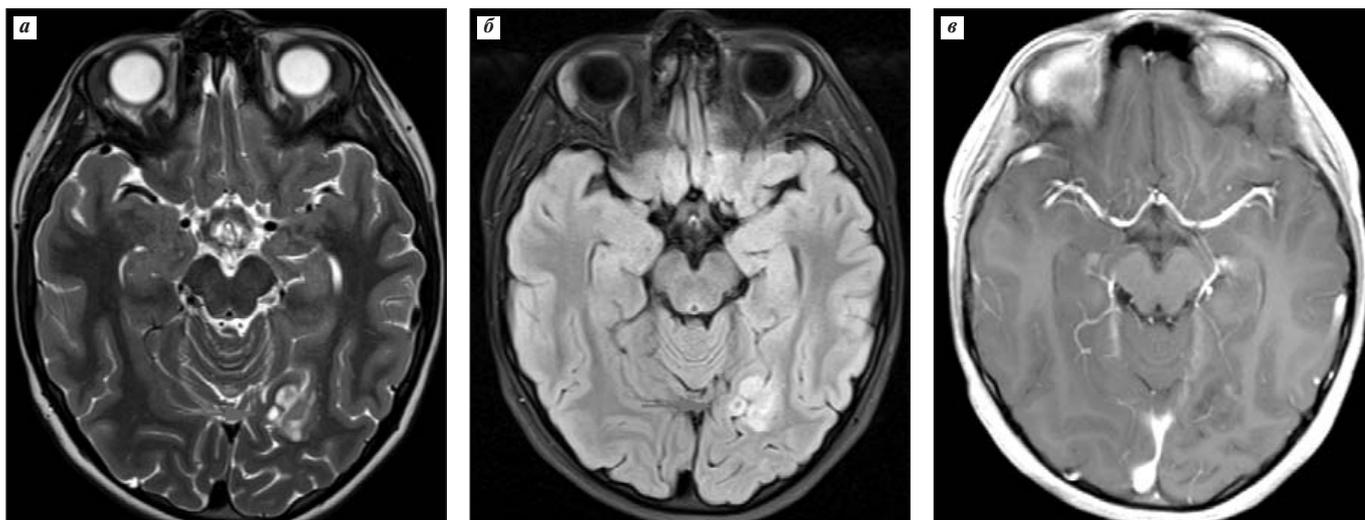
При височной эпилепсии также выявляются изменения височных областей экстрагиппокампаальной локализации. Данным аномалиям присущи увеличение интенсивности сигнала от белого вещества височного полюса на T2-импульсных последовательностях, нарушение серо-белой демаркации, потеря объема, преимущественно за счет белого вещества передних отделов височной доли.

Инверсия гиппокампа описывает морфологический вариант строения гиппокампа; она часто обнаруживается и у здоровых людей. У данной группы пациентов инверсия гиппокампа может отражать нарушение развития мозга с возможным поражением других его отделов, но не является самостоятельной эпилептогенной патологией [4].

### Фокальные эпилептогенные поражения головного мозга

Опухоли намного чаще обнаруживаются у пациентов с медикаментозно резистентной эпилепсией. Наиболее часто в структуре эпилептогенных опухолей встречаются:

– ганглиоглиомы, ДНЭО, плеоморфные ксантоastroцитомы, гипоталамические гамартомы. Среди эпилепто-



**Рис. 6.** Ганглиоглиома (а, б). При внутривенном введении контрастного препарата (в) накопление его тканью опухоли отмечается менее чем в половине случаев

генных объемных образований головного мозга, ассоциированных с височной эпилепсией, ганглиоглиома встречается чаще прочих. Приблизительно половина ганглиоглиом — преимущественно солидные, а другая половина — преимущественно кистозные опухоли, обе разновидности объемных образований гиперинтенсивные в T2-импульсных последовательностях. Примерно в половине случаев в структуре опухоли обнаруживаются кальцинаты (важный диагностический признак, позволяющий отличить ее от других опухолей), менее чем в половине случаев отмечается накопление тканью опухоли контрастного препарата (рис. 6);

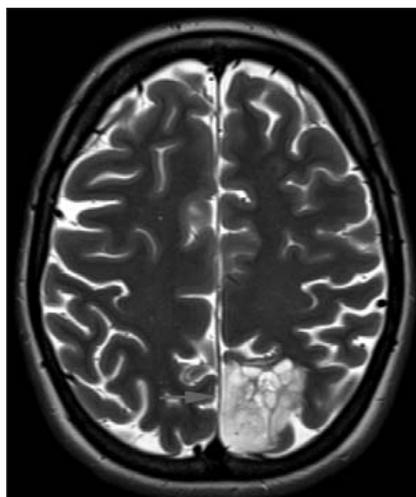
— *дизэмбриопластические опухоли* — мультикистозные образования кортикальной локализации, которые могут иметь клиновидную форму и быть обращены в сторону желудочка, как правило, не накапливают контраст (рис. 7);

— *плеоморфные ксантоastroцитомы* — редко выявляемые опухоли кортикальной локализации, описываемые как кисты (или солидные опухоли) супратенториальной локализации, гиперинтенсивные в T2-импульсных последовательностях, граничащие с мозговыми оболочками. При данной патологии выявляются утолщение и накопление контрастного препарата подлежащими оболочками головного мозга [4, 13, 18].

Фокальные кортикальные дисплазии (ФКД) являются одной из частых причин, обуславливающих возникновение эпилепсии. ФКД — врожденная аномалия кортикального развития, при которой происходит нарушение нормальной миграции нейронов на разных стадиях данного физиологического процесса. Наиболее часто у пациентов с ФКД при анализе данных МРТ выявляются участки незначительного повышения сигнала, локализирующиеся в корти-

кальной пластинке или белом веществе головного мозга (чаще в основании глубоких борозд), отчетливо визуализирующиеся в T2- и FLAIR-импульсных последовательностях; также при данной патологии отмечается смазанность (нечеткость) серо-белой демаркации, возможно локальное утолщение кортикальной пластинки и наличие трансмантального знака (участка гиперинтенсивного сигнала, простирающегося от субкортикальных отделов до стенки бокового желудочка; рис. 8) [19]. При неокортикальной эпилепсии у пациентов с кортикальными дисплазиями были проведены исследования с применением протонной МРС. Наиболее частой находкой было снижение пика NAA. Изменения других метаболитов варьировали, что позволило предположить метаболическую гетерогенность, присущую данным изменениям. Даже в пределах одной зоны аномального развития коры головного мозга зоны с аномальными и нормальными значениями концентрации метаболитов чередуются, что затрудняет дифференциальную диагностику между глиомами низкой степени злокачественности и фокальными кортикальными дисплазиями, хотя в опухолях значения NAA, как правило, ниже.

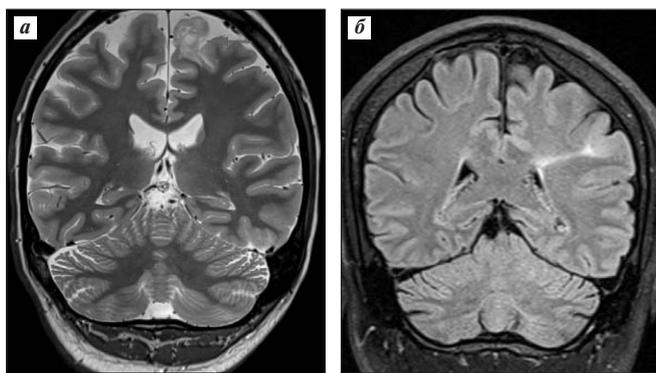
Кавернозная ангиома — это доброкачественная сосудистая мальформация с тенденцией к постепенному кровотоку. В 75% случаев она определяется как единичное изменение в паренхиме головного мозга. Кавернома состоит из маленьких компартментов, содержащих кровь в разных стадиях биотрансформации, делающих ее по внешнему виду похожей на попкорн. По периферии кавернозной ангиомы отмечается «ободок», содержащий гемосидерин. В данном случае наиболее информативна SWI-импульсная последовательность, взвешенная по неоднородности магнитного поля, чувствитель-



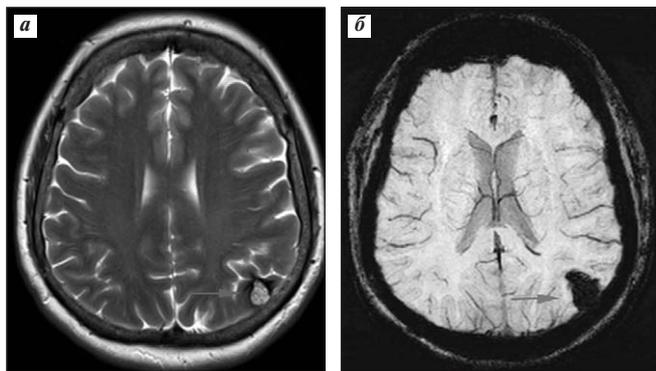
**Рис. 7.** Дизэмбриопластическая опухоль

ная к венозной крови, кровоизлияниям, отложению железа и наличию кальцинатов в ткани головного мозга, которая значительно повышает чувствительность МРТ в локализации даже мелких каверном. Кавернозные ангиомы ассоциируются с аномалиями развития венозной системы (рис. 9) [4, 13, 18].

Обратимое изменение МР-сигнала мезиальной темпоральной локализации отмечается в головном мозге пациентов после продолжительной приступной активности или эпилептического статуса, что может приводить к ошибочной диагностике у пациента мезиального темпорального склероза. Данные изменения могут проявляться уни- или билатеральным повышением сигнала на T2- (в том числе FLAIR) импульсных последовательностях, ограничением диффузии, отеком борозд, а также увеличением перфузии



**Рис. 8.** ФКД. Отмечаются участки незначительного повышения сигнала, локализующиеся в кортикальной пластинке или белом веществе головного мозга, отчетливо визуализирующиеся в T2- (а) и FLAIR- (б) импульсных последовательностях. Также при данной патологии отмечается смазанность (нечеткость) серо-белой демаркации, возможно локальное утолщение кортикальной пластинки и наличие трансмантального знака — участка гиперинтенсивного сигнала, простирающегося от субкортикальных отделов до стенки бокового желудочка (б)



**Рис. 9.** Кавернозная ангиома, состоящая из маленьких отсков, содержащих кровь в разных стадиях биотрансформации. Вокруг кавернозной ангиомы отмечается «ободок», содержащий гемосидерин (а). Наиболее информативна SWI (б), чувствительная к венозной крови и кровоизлияниям, которая значительно повышает чувствительность МРТ в локализации даже мелких каверном

этой области. Однако с течением времени при данном состоянии сигнал на T2-импульсных последовательностях и DWI нормализуется [20].

Протонная МРС может играть вспомогательную роль и в предоперационном обследовании некоторых пациентов с эпилепсией. При проведении спектроскопии типичные изменения МРС при МТС — снижение пика NAA и повышение пиков Cr и Cho, характеризующие потерю нейронов и глиоз. Одностороннее уменьшение соотношения NAA/Cr, NAA/Cho или NAA/Cho+Cr показывает высокую согласованность с ЭЭГ-данными при латерализации эпилептического фокуса у пациентов с височной эпилепсией, поэтому данная методика будет полезна для подтверждения ЭЭГ-аномалии у пациентов с поражением головного мозга по данным обычных МР-изображений. Интерпретация МРС основывается на сравнении спектров метаболитов в области поражения и аналогичного региона контралатеральной гемисферы, следовательно, некорректная латерализация фокуса височной эпилепсии может иметь место в случаях битемпорального поражения головного мозга. При оценке данных протонной спектроскопии можно оценить метаболические изменения не только в патологически измененных тканях, но и, в случае «МР-негативной» эпилепсии, в визуально сохраненных тканях головного мозга [11, 12, 21].

#### Заключение

В настоящее время МРТ все чаще включается в протокол обследования пациентов с подозрением на эпилепсию или лиц с уже установленным диагнозом, нуждающихся в уточнении локализации и характера эпилептогенного поражения, а в ряде случаев МРТ может проводиться в рамках предоперационного обследования пациента.

Группа эпилептогенных поражений вещества головного мозга чрезвычайно обширна и гетерогенна. Одно из первых мест по частоте встречаемости у пациентов с эпилептическими приступами занимает МТС. Реже встречаются эпилептогенные опухоли, ФКД и другие нарушения структуры головного мозга.

При МТС на T2- (в том числе FLAIR-) импульсных последовательностях отчетливо визуализируются редукция объема гиппокампа с нарушением его нормальной структуры, компенсаторное расширение хориоидальной щели и височного рога бокового желудочка. Типичные изменения на МРС при гиппокампальном склерозе — это снижение пика NAA и повышение пиков Cr и Cho.

Среди эпилептогенных опухолей наиболее часто встречаются: ганглиogliомы, ДНЭО, плеоморфные ксантоастроцитомы, гипоталамические гамартомы. Несмотря на вариабельность МР-характеристик эпилептогенных опухолей, последовательности DWI, MPRAGE, МРС, DTI, SWI и ASL помогают получить дополнительную информацию, облегчающую верификацию типа объемного образования.

Для диагностики ФКД, одной из самых частых причин экстратемпоральной эпилепсии, используются тонкосрезовые изображения MPRAGE, FLAIR и T2 для выявления участков повышения МР-сигнала (изоинтенсивного кортикальной пластинке), нечеткости серо-белой демаркации и наличия трансмантального знака.

В отношении кавернозных ангиом SWI-импульсная последовательность, чувствительная к продуктам распада

гемоглобина, значимо облегчает диагностику данной сосудистой опухоли и помогает выявить даже мелкие каверномы при анализе данных МРТ.

При эпилептическом статусе или после продолжительной приступной активности выявить ограниченный отек борозд, локальное повышение перфузии темпоральной локализации помогают DWI- и ASL-последовательности, но важно помнить, что при постприступном отеке с течением времени сигнал на T2-импульсной последовательности и DWI нормализуется.

Подводя итог всему вышесказанному, следует отметить, что высокая чувствительность и специфичность в выявлении эпилептогенного субстрата помогают МРТ удерживать лидирующие позиции среди диагностических методов, применяемых при обследовании пациентов с подозрением на эпилепсию, а комплекс современных импульсных последовательностей позволяет получить важную диагностическую информацию, необходимую для повышения качества диагностики, даже при отсутствии видимой структурной патологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мухин КЮ, Петрухин АС, Миронов МБ. Эпилептические синдромы. Диагностика и терапия (Справочное руководство для врачей). Москва: Системные решения; 2008 [Mukhin KYu, Petrukhin AS, Mironov MB. *Epilepticheskie sindromy. Diagnostika i terapiya (Spravochnoe rukovodstvo dlya vrachei)* [Epileptic syndromes. Diagnosis and therapy (Reference guide for doctors)]. Moscow: Sistemnye resheniya; 2008 (In Russ.)].
2. Rüber T, David B, Elger CE. MRI in epilepsy: clinical standard and evolution. *Curr Opin Neurol*. 2018 Apr;31(2):223-31. doi: 10.1097/WCO.0000000000000539
3. International League Against Epilepsy. URL: [http://www.ilae.org/Visitors/About\\_ILAE/Index.cfm](http://www.ilae.org/Visitors/About_ILAE/Index.cfm). Дата обращения – 16.01.2018.
4. Reiser MF, Hricak H, Knauth M. MRI in epilepsy. Textbook of epilepsy. Springer Science & Business Media; 2013.
5. Ринк П. Магнитный резонанс в медицине. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2003 [Rink P. *Magnitnyy rezonans v meditsine* [Magnetic resonance in medicine]. Moscow: GEOTAR-Media; 2003 (In Russ.)].
6. Blumcke I, Thom M, Aronica E. International consensus classification of hippocampal sclerosis in temporal lobe epilepsy: a task force report from the ILAE Commission on Diagnostic Methods. *Epilepsia*. 2013;54:1315-29. doi: 10.1111/epi.12220
7. Shimogawa T, Morioka T, Sayama T, et al. The initial use of arterial spin labeling perfusion and diffusion-weighted MRI in the diagnosis of nonconvulsive partial status epileptics. *Epilepsy Res*. 2017;129:162-73. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2016.12.008
8. Kwan BYM, Salehi F, Ohorodnyk P, et al. Usage of SWI acquired at 7T for quantitative evaluation of temporal lobe epilepsy patients with histopathological and clinical correlation: An initial pilot study. *J Neurol Sci*. 2016;369:82-7. doi: 10.1016/j.jns.2016.07.066
9. Tae WS, Ham BJ, Pyun SB, et al. Current Clinical Applications of Diffusion-Tensor Imaging in Neurological Disorders. *J Clin Neurol*. 2018;14:e6. doi: 10.3988/jcn.2018.14.2.129
10. Treit S, Steve T, Gross DW, Beaulieu C. High resolution in-vivo diffusion imaging of the human hippocampus. *Neuroimage*. 2018. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.034 [Epub ahead of print].
11. McLean MA, Koepp M, Woermann FG. Magnetic resonance spectroscopy in patients with epilepsy. In: Luders H, editor. Textbook of epilepsy Surgery. London: Informa Healthcare; 2008.
12. Willmann O, Wennberg R, May T, et al. The role of 1H magnetic resonance spectroscopy in pre-operative evaluation for epilepsy surgery. A meta-analysis. *Epilepsy Res*. 2006;71:149-58. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2006.06.004
13. Urbach H. High-Field Magnetic Resonance Imaging for Epilepsy. *Neuroimaging Clin N Am*. 2012 May;22(2):173-89, ix-x. doi: 10.1016/j.nic.2012.02.008. Epub 2012 Mar 30.
14. Oner AYU, Eryurt B, Ucar M, et al. pASL versus DSC perfusion MRI in lateralizing temporal lobe epilepsy. *Acta Radiologica*. 2015;56(4):477-81. doi: 10.1177/0284185114531128
15. Kim BS, Lee ST, Yun TJ, et al. Capability of arterial spin labeling MR imaging in localizing seizure focus in clinical seizure activity. *Eur J Radiol*. 2016;85(7):1295-303. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.04.015
16. Szafarski JP, Gloss D, Binder JR, et al. Practice guideline summary: Use of fMRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy. *Neurology*. 2017;88(4):395-402. doi: 10.1212/WNL.0000000000003532
17. Engel J Jr, Pedley TA, Aicardi J, et al. Epilepsy: A Comprehensive Textbook. Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
18. Friedman E. Epilepsy Imaging in Adults: Getting It Right. *Neuroradiology/Head and Neck Imaging*. 2014;203:1093-103. doi: 10.2214/AJR.13.12035
19. Kokkinos V, Kallifatidis A, Kapsalaki EZ, et al. Thin isotropic FLAIR MR images at 1.5T increase the yield of focal cortical dysplasia transmantle sign detection in frontal lobe epilepsy. *Epilepsy Res*. 2017 May;132:1-7. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2017.02.018
20. Williams JA, Bede P, Doherty CP. An exploration of the spectrum of peri-ictal MRI change; A comprehensive literature review, 2017. *Seizure*. 2017;50:19-32. doi: 10.1016/j.seizure.2017.05.005
21. Ladino LD, Balaguera P, Rascovsky S, et al. Clinical Benefit of 3 Tesla Magnetic Resonance Imaging Rescanning in Patients With Focal Epilepsy and Negative 1.5 Tesla Magnetic Resonance Imaging. *Rev Invest Clin*. 2016 May-Jun;68(3):112-8.
22. Авакян ГН. Вопросы современной эпилептологии. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2015;7(4):16-21 [Avakyan GN. Issues of modern epileptology. *Epilepsiya i Paroksizmal'nye Sostoyaniya*. 2015;7(4):16-21 (In Russ.)].
23. Авакян ГН, Блинов ДВ, Лебедева АВ и др. Классификация эпилепсии Международной противосудорожной лиги: пересмотр и обновление 2017 года. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017;9(1):6-25 [Avakyan GN, Blinov DV, Lebedeva AV, et al. Classification of Epilepsy of the International Antiepileptic League: revision and update of 2017. *Epilepsiya i Paroksizmal'nye Sostoyaniya*. 2017;9(1):6-25 (In Russ.)].
24. Craven I, Griffiths PD, Hoggard N. Magnetic resonance imaging of epilepsy at 3 Tesla. *Clin Radiol*. 2011 Mar;66(3):278-86. doi: 10.1016/j.crad.2010.10.010
25. Rodrigo S, Oppenheim C, Leclerc X, et al. Structural MRI in adult partial epilepsy. *Neurochirurgie*. 2008 May;54(3):191-6. doi: 10.1016/j.neuchi.2008.02.045

Поступила 14.03.2018

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.