

Проблемная комиссия «Эпилепсия. Пароксизмальные состояния» РАН
и Министерства здравоохранения Российской Федерации

Российская Противозепилептическая Лига

ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния

2017 Том 9 №4



EPILEPSY AND PAROXYZMAL CONDITIONS

ISSN 2077-8333

2017 Vol. 9 №4

www.epilepsia.su

Включен в перечень ведущих
рецензируемых журналов и изданий ВАК

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МР-ДИАГНОСТИКИ МИКРОСТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПАЦИЕНТОВ С ВИСОЧНОЙ ЭПИЛЕПСИЕЙ

Перепелова Е. М.¹, Перепелов В. А.^{1,2}, Меркулова М. С.²

¹ *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)», Москва*

² *Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия последипломного образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва*

Резюме

Диагностика эпилепсии остается одной из актуальных задач, стоящей перед врачами различных специальностей. При обследовании пациентов с подозрением на эпилепсию роль нейровизуализации заключается в локализации и определении характера основной патологии, помощи в формулировании диагноза, а также прогноза течения болезни. Среди нейровизуализационных методик для решения поставленной задачи наибольшее распространение приобрела магнитно-резонансная томография (МРТ), что вызвано ее высокой чувствительностью и специфичностью в отношении локализации мелких нарушений структуры головного мозга. Помимо структурных импульсных последовательностей, эпилептологический МР-протокол включает ряд современных методик, позволяющих оценивать функциональное состояние головного мозга, в том числе и при височной эпилепсии. В настоящей статье представлен протокол с применением современных импульсных последовательностей при обследовании пациента с подозрением на височную эпилепсию, а также рассмотрены наиболее типичные изменения структурного и функционального состояния вещества головного мозга при данной нозологии.

Ключевые слова

Эпилепсия, мезиальный темпоральный склероз, эпилептологический МР-протокол, магнитно-резонансная томография, височная эпилепсия, повреждение гиппокампа.

Статья поступила: 13.11.2017 г.; в доработанном виде: 30.11.2017 г.; принята к печати: 22.12.2017 г.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии необходимости раскрытия финансовой поддержки или конфликта интересов в отношении данной публикации.

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования

Перепелова Е. М., Перепелов В. А., Меркулова М. С. Некоторые вопросы МР-диагностики микроструктурных и функциональных нарушений головного мозга у пациентов с височной эпилепсией. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2017; 9 (4): 41-49. DOI: 10.17749/2077-8333.2017.9.4.041-049.

MICROSTRUCTURAL AND FUNCTIONAL ABNORMALITIES IN THE BRAIN OF PATIENTS WITH TEMPORAL LOBE EPILEPSY AS REVEALED WITH MR IMAGINGPerepelova E. M.¹, Perepelov V. A.^{1,2}, Merkulova M. S.²¹ I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia, Moscow² Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow**Summary**

Diagnosis of epilepsy remains a challenging task facing physicians of various specialties. When epilepsy is suspected, neuroimaging is one of the major diagnostic tests able to localize the epileptic site and identify the underlying pathology; this information is indispensable in making the diagnosis and predicting the prognosis of the disease. Magnetic resonance imaging (MRI) is the most common modality widely used due to its high sensitivity and specificity in detecting of subtle abnormalities in the brain structure. In addition to the structural pulse sequences, the epilepsy-specific MRI-protocol incorporates a number of recently introduced techniques for the assessment of local functional abnormalities. In this report, the epilepsy-specific protocol that includes the updated pulse sequences technique was used in patients suspected of having temporal lobe epilepsy. Using this technique, characteristic changes in the structure and function of local brain segments in temporal epilepsy were demonstrated.

Key words

Epilepsy, mesial temporal sclerosis, MRI epilepsy protocol, temporal epilepsy, hippocampal lesion

Received: 13.11.2017; **in the revised form:** 30.11.2017; **accepted:** 22.12.2017.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and no need for financial disclosure regarding this manuscript.

All authors contributed equally to this article.

For citation

Perepelova E. M., Perepelov V. A., Merkulova M. S. Microstructural and functional abnormalities in the brain of patients with temporal lobe epilepsy as revealed with MR imaging. *Epilepsy and paroxysmal conditions. [Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya]*. 2017; 9 (4): 41-49 (in Russian). DOI: 10.17749/2077-8333.2017.9.4.041-049.

Corresponding author

Address: ul. Trubetskaya, 8, str. 2, Moscow, Russia, 119048

E-mail address: vsevolod.perepelov@gmail.com (Perepelov V. A.).

Аномалии и пороки развития головного мозга и сосудистой системы, пре-, интра- и постнатальное поражение центральной нервной системы (ЦНС) различного генеза, инфекционные агенты, нейрокутанные синдромы, острые нарушения мозгового кровообращения и различные объемные образования ЦНС могут инициировать развитие цепи патофизиологических процессов на молекулярном и клеточном уровнях, играющих определяющую роль в развитии эпилепсии. Частота идентификации эпилептогенного субстрата в значительной степени зависит от возраста пациента. У взрослых индивидуумов наиболее часто выявляются мезиальный темпоральный склероз, объемные образования и травмы головного мозга, тогда как в младенческом и детском возрасте больше распространены разнообразные пороки развития, пре- и перинатальные инфекционные и ишемические поражения головного мозга [1,2,3].

Вклад различных анатомических образований головного мозга в эпилептогенез неодинаков. Так,

гиппокамп является структурой, наиболее чувствительной к действию различных повреждающих факторов у всех пациентов вне зависимости от возраста. Однако пока до конца не установлено, является ли данная эпилепсия следствием аномалий строения гиппокампа, или же его повреждение вызвано кумулятивным эффектом приступов. Для выявления изменений в структуре головного мозга среди прочих нейровизуализационных методик наиболее широкое распространение получила магнитно-резонансная томография (МРТ). В настоящее время, помимо использования стандартных T1- и T2- взвешенных последовательностей, являющихся основой рутинного протокола и позволяющих оценивать морфологию различных структур головного мозга, в т.ч. гиппокампа у пациентов с эпилептическими припадками, целесообразно включение в исследование ряда современных методик, выявляющих изменения функциональной активности и нарушения микроструктурной организации головного мозга.

Задачи, показания и необходимые условия для проведения эпилептологического сканирования

Диагностика эпилепсии является одной из актуальных задач современной медицины, привлекающей внимание ученых и врачей различных специальностей, что вызвано как высокой распространенностью данного заболевания в популяции, так и совершенствованием нейровизуализационных методик, позволяющих оценить структурное и функциональное состояние головного мозга на новом уровне.

Основными задачами, которые ставятся перед специалистами лучевой диагностики при обследовании пациента с подозрением на эпилепсию, являются локализация и определение характера основной патологии, требующей специфического лечения, помощь в формулировании синдромального и этиологического диагноза, а также прогноза течения болезни. Диагноз устанавливается на основании анализа жалоб пациента, анамнеза его жизни и заболевания; проведения неврологического осмотра и нейропсихологического тестирования; изучения результатов регистрации биоэлектрической активности коры головного мозга, а также методов нейровизуализации, включающих структурные и функциональные методики. Следует отметить, что клинические данные играют решающее значение в диагностике эпилепсии, а нейровизуализационные методики должны оцениваться в совокупности с ними и никак иначе.

Среди структурных нейровизуализационных методик в повседневной клинической практике наибольшее распространение приобрела МРТ, что вызвано ее более высокой чувствительностью и специфичностью в отношении локализации мелких нарушений структуры головного мозга или аномалий развития кортикальной пластинки в сравнении с компьютерной томографией (КТ).

Согласно выпущенным в свое время рекомендациям Международной Противозепилептической Лиги (International League Against Epilepsy – ILAE) [4], проведение МРТ необходимо назначать пациентам, если: есть клинические или ЭЭГ-признаки фокального начала приступов независимо от возраста; тип приступа невозможно классифицировать; имеются признаки фокального неврологического или нейропсихологического дефицита; приступы не контролируются противозепилептическими препаратами первого выбора; при успешном раннем лечении через какое-то время приступы появляются вновь, учащаются или меняется их клинический паттерн. Также следует проводить исследование, если первоначальная МРТ была в норме, но приступы продолжают продолжаться на протяжении нескольких лет. Если возникает вопрос о целесообразности оперативного лечения, повторная МРТ необходима пациентам как часть прехирургического обследования.

По данным ILAE, МРТ с использованием томографа с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла яв-

ляется минимально возможным исследованием, которое проводится пациенту с подозрением на эпилепсию. Наиболее целесообразным представляется использование высоко- и сверхвысокопольных МР-томографов с напряженностью магнитного поля 3,0 Тесла и выше, оснащенных дополнительным нейрорадиологическим пакетом программного обеспечения. Такие томографы обладают более высоким пространственно-временным разрешением и соотношением сигнал-шум (безразмерной величины, отражающей отношение полезного сигнала к уровню шума, неизменно возникающего при получении изображения). Высокое разрешение обеспечивает более высокий контраст тканей, позволяющий более отчетливо визуализировать дифференцировку серого и белого вещества, что и является одной из первоочередных задач эпилептологического сканирования. Исследование должно проводиться с минимальной толщиной среза (не более 2 мм) и включать трехмерную анатомическую T1-взвешенную импульсную последовательность (размер изотропного вокселя не более 1,5 мм) с возможностью последующей трехмерной реконструкции для выявления даже самых мелких структурных аномалий головного мозга (кортикальные дисплазии и т.д.). Сканирование должно проводиться минимум в двух плоскостях первичного сбора данных [5].

Подходы к проведению и характерные патоморфологические изменения, выявляемые при эпилептологическом сканировании

До настоящего времени не достигнуто консенсуса в отношении набора методик и оптимальных технических параметров эпилептологического протокола, позволяющих наиболее точно выявить биомаркеры структурного и функционального повреждения при патологии головного мозга у пациентов с подозрением на эпилепсию. Наиболее часто в клинической практике применяются стандартные импульсные последовательности, которые построены по принципу интенсивности единой серой шкалы и отражают свойства тканей, к которым чувствительна именно данная последовательность. Так, при получении T1-взвешенных изображений жидкость будет иметь гипоинтенсивный сигнал, а в T2-взвешенной последовательности — гиперинтенсивный. Использование данных импульсных последовательностей позволяет оценивать объем, форму структур, а также интенсивность сигнала, связанную с изменением времени релаксации, а следовательно дающую возможность судить о патологических изменениях, произошедших в структуре ткани.

В ответ на повреждающий фактор в структуре гиппокампа происходят различные патоморфологические изменения, такие как: нейродегенерация, нейро- и ангиогенез, воспаление, нарушение гематоэнцефалического барьера, а также развивается аксональный и синаптический ответ [6]. МРТ приоб-

рела широкое распространение для визуализации изменений в структуре гиппокампа и для выявления гиппокампального склероза. Мезиальный темпоральный склероз (МТС) представляет собой состояние, характеризующееся прогрессирующим уменьшением числа нейронов в гиппокампе, сопровождающееся глиозом и атрофией его вещества [7]. Этиология МТС неизвестна, но существует связь между данным патологическим состоянием и длительными фебрильными судорогами в раннем анамнезе, и нарушением процесса развития индивида. Часто у данных лиц можно выявить сопутствующую патологию (фокальную кортикальную дисплазию и др.) [8]. Для обнаружения МТС при проведении МРТ наиболее чувствительными являются T2 и T2 FLAIR импульсные последовательности во фронтальной проекции, построенной перпендикулярно длиннику продольной оси гиппокампа [9]. При данном патологическом состоянии визуализируется уменьшение объема гиппокампа и вторичное расширение височного рога и хориоидальной щели, а также повышенная интенсивность сигнала в T2 и T2 FLAIR (последовательность с подавлением сигнала от свободной жидкости) импульсных последовательностях, отражающие глиоз [10]. Следует четко отличать МТС от эпилептического статуса, низкодифференцированных опухолей (астроцитомы, ДНЭО), энцефалита, характеризующихся схожим повышением сигнала в T2 и T2 FLAIR импульсных последовательностях, однако не сопровождающихся уменьшением объема гиппокампа. В классическом понимании МТС – это патологический процесс, развивающийся в медиобазальных отделах височной доли унилатерально, однако на сегодняшний день все большее количество авторов сообщает о билатеральном распространении патологического процесса, что может существенно затруднить диагностику данного патологического состояния [11,12].

Включение в протокол стандартных импульсных последовательностей является обязательным, но недостаточным условием для проведения эпилептологического сканирования. На данный момент все шире используются современные возможности МРТ, позволяющие оценить функциональное состояние тканей, такие как диффузионно-взвешенная последовательность (diffusion-weighted imaging – DWI), позволяющая получить данные об ограничении изотропной (свободной) диффузии молекул воды в веществе головного мозга, выявляемой при наличии вне- и внутриклеточного отека и участков с повышенным содержанием клеток. Диффузионно-тензорная последовательность (diffusion-tensor imaging – DTI), являющаяся вариантом диффузионно-взвешенной последовательности, позволяет получить данные о микроструктурной целостности белого вещества [13]. В основе методики лежит измерение величины и направленности диффузии молекул воды в головном мозге. Диффузия воды

протекает вдоль аксонов, изолированных миелиновой оболочкой, последняя практически непроницаема для молекул воды, что позволяет судить о направлении хода 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, то есть степень направленности структур и их целостность. Значение FA, равное нулю, означает, что диффузия изотропна, то есть она неограниченна (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 [14]. В настоящее время все чаще признается полезность DTI в оценке не только белого, но и серого вещества, в т.ч. в выделении отдельных слоев гиппокампа, избирательно уязвимых при повреждении [15]. Кроме того, DTI использовался в эксперименте по выявлению пластических процессов в гиппокампе во время обучения у людей и у животных [16]. Отмечено, что увеличение FA в зубчатой извилине наблюдалось после эпилептического статуса в связи с прорастанием мшистых волокон и аксональной пластичностью [17]. Интересно, что изменяется ориентация основного собственного вектора диффузионного тензора, показывающего основные направления диффузии, указывая на пространственную реорганизацию гиппокампа [18].

Budde M. D. и соавт. в результате инициированного эпилептического статуса у крыс, которым парентерально вводилась каиновая кислота, на 10-й день выявили изменение ориентации диффузии молекул воды в лучистом слое гиппокампа – она была изменена с кранио-каудальной на дорзально-вентральную, структура была тоньше и темнее из-за уменьшения анизотропии [19]. В ходе динамического исследования изменения прогрессировали, пока на 79-й день после эпилептического статуса структура не перестала определяться. При гистологическом исследовании были выявлены увеличение количества пирамидальных клеток, глиоз и активация

астроцитов. В зубчатой извилине ориентация основного диффузионного тензора не менялась, но значение FA увеличивалось в течение всего периода наблюдения, что объясняется прорастанием мшистых волокон и аксональной пластичностью аксонов крючковидного пучка.

По результатам анализа Slinger G. и соавт. [20] данных DTI пациентов со всеми типами эпилепсии, показатели FA (но не MD) у пациентов с височной эпилепсией были значительно снижены во всем белом веществе головного мозга. У пациентов с фокальной эпилепсией было выявлено существенное уменьшение значений FA в белом веществе ипсилатеральной и в меньшей степени контралатеральной гемисферы. Значения MD были увеличены в ипсилатеральной гемисфере. Также отмечено снижение значения FA в мозолистом теле, крючковидном пучке и в мозжечке [21]. Увеличение значения MD чаще наблюдалось в мозолистом теле и в белом веществе височной доли. В результате было статистически достоверно установлено, что общее значение показателей FA у пациентов с эпилепсией снижалось, а MD – увеличивалось. При фокальной эпилепсии эти изменения выражены больше, чем при генерализованной [22]. Выраженность изменений показателей DTI у пациентов с височной эпилепсией коррелирует с возрастом начала эпилепсии, продолжительностью течения заболевания и полом (у мужчин изменения были выражены в большей степени). Интересно, что изменения показателей диффузии в крючковидном пучке и в нижнем лобно-затылочном пучке коррелируют с когнитивными нарушениями, такими как нарушение памяти, способности к планированию и т.д. [23,24].

Метод спиновой маркировки артериальной крови (Arterial Spin Labeling, ASL), в котором используются в качестве контрастного агента протоны водорода воды, входящие в состав артериальной крови, является неинвазивным методом оценки перфузии головного мозга и дает возможность качественно оценить значения мозгового кровотока, а при использовании пакета программ для постпроцессорной обработки дает его количественную оценку (мл/100 г вещества/мин.) [25]. Была проведена оценка достоверности методики pASL (pulsed ASL) в обнаружении асимметрии перфузии мезиальных отделов височной доли при латерализации эпилептогенного очага у пациентов с медикаментозно резистентной височной эпилепсией в сравнении с контрастной МР-перфузией головного мозга [26,27]. Отношение мозгового кровотока, измеренное у здоровых добровольцев двумя различными методами перфузии не выявило статистически значимой разницы в измерениях. У пациентов с височной эпилепсией было показано, что отношение мозгового кровотока (мл/100 г вещества головного мозга/мин.) пораженной стороны было значительно ниже, чем контралатеральной стороны при использовании обеих методик [28,29].

pASL может успешно выявлять межприступную асимметрию мозгового кровотока у пациентов с височной эпилепсией и может легко сочетаться с обычной структурной визуализацией для латерализации эпилептического фокуса, что является прямой альтернативой контрастной МР-перфузии [30]. Последовательность, ориентированная на выявление эффекта неоднородности магнитного поля при наличии парамагнетика (SWI – susceptibility weighted imaging), позволяет выявить мельчайшие кровоизлияния, anomalously развитые сосуды, патологические отложения железа, а также микрокальцинаты в паренхиме головного мозга. Трехмерная импульсная последовательность градиентного эхо с ускоренным сбором данных (MPRAGE) характеризуется высокой контрастностью между серым и белым веществом и позволяет получать изображения высокого качества с возможностью последующей реконструкции полученных данных в любой плоскости, что чрезвычайно важно для выявления мелкой патологии головного мозга и оценки кортикальной пластинки (толщина, демаркация) и оценки особенностей развития головного мозга.

Одновоксельная и мультивоксельная спектроскопия позволяют оценить величину и соотношение резонансных пиков спектров физиологических и патологических метаболитов головного мозга, тем самым позволяя получить представление о биохимическом составе его тканей.

Одним из современных инструментов МРТ является магнитно-резонансная спектроскопия (МРС), которая может служить дополнительным маркером эпилептогенного поражения. МРС может помочь дифференцировать схожие по виду поражения и обнаружить поражения вещества мозга, расположенные на удалении. МРС измеряет концентрацию метаболитов в веществе мозга неинвазивно. В нейрорадиологии чаще используется протонная спектроскопия. МРС использует незначительные различия в резонансной частоте протонов ^1H в зависимости от метаболита, с которым они связаны, в условиях подавления сигнала, возникающего от воды и макромолекул.

При длинном времени эхо ($TE > 134$ мс) образуется высокий сигнал от N-ацетил-аспартата (NAA), маркера нейрональной функции. Другие пики исходят от креатина и фосфокреатина (Cr), отражающих уровень энергии и клеточную плотность; холинсодержащие соединения (Cho) характеризуют мембранную передачу. При коротком времени эхо (около 30 мс) дополнительный пик может быть обнаружен от миоинозитола (Ins), что свидетельствует в пользу глиоза, и глутамата (Glx), маркера возбуждающих аминокислот. Поскольку площади под пиком метаболита пропорциональны содержанию метаболита в ткани, спектры можно использовать в оценке качественной и количественной концентрации метаболитов. Чаще используется отношение одного пика к другому:

NAA/Cr или NAA/(Cr+Cho), что позволяет компенсировать временные и пространственные различия в работе томографа. При оценке данных ^1H -MPC (протонной спектроскопии) можно оценить метаболические изменения не только в патологически измененных тканях, но и в случае «MP-негативной» эпилепсии в морфологически неизмененных тканях, в т.ч. при височной локализации эпилептогенного фокуса [31].

Например, типичные изменения MPC при гиппокампальном склерозе (при потере нейронов и глиозе) – это снижение пика NAA и повышение пиков Cr и Cho. В контрлатеральном гиппокампе могут выявляться нормальные значения метаболитов или измененные в меньшей степени значения. Односторонние изменения основных метаболитов имеют хорошее прогностическое значение в случае оперативного лечения, в 82% случаев в послеоперационном периоде удается достичь полного отсутствия приступов или их значительного сокращения. У пациентов с височной эпилепсией с односторонними аномальными значениями MPC шанс достичь ремиссии значительно выше, чем у пациентов с двухсторонними изменениями [32]. В то же время двухсторонние переходящие изменения спектра наблюдались в исследованиях до 70% пациентов с височной эпилепсией. Также была выявлена послеоперационная метаболическая нормализация на неоперированной стороне. Полученные данные привели к заключению, что изменение NAA может быть обратимым, а значит функциональным маркером поражения в контрлатеральном гиппокампе. При использовании мультивоксельной протонной спектроскопии в сочетании с методом сегментации тканей было обнаружено значительное снижение NAA в ипси- и контрлатеральных областях лобной доли и белого вещества вне височной доли [33].

При неокортикальной эпилепсии у пациентов с кортикальными дисплазиями были проведены исследования с применением протонной MPC. Наиболее частой находкой было снижение NAA. Изменения других метаболитов варьировали, что позволило предположить метаболическую гетерогенность. Даже в пределах одной зоны аномального развития коры головного мозга, зоны аномального и нормального значения концентрации метаболитов перемежаются, что затрудняет дифференциальный диагноз между глиомами низкой степени злокачественности и фокальными кортикальными дисплазиями, хотя в опухолях значения NAA, как правило, ниже.

Неоценимую помощь в локализации эпилептогенного фокуса оказывает использование интериктальной и иктальной электроэнцефалографии и других методик регистрации биоэлектрической активности коры головного мозга вместе с дополнительными функциональными методиками, такими как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография

(ОФЭКТ), магнитоэнцефалография (МЭГ). Следует заметить, что такие функциональные методики, как ПЭТ и ОФЭКТ, обладают низким пространственным разрешением и не позволяют в полной мере визуализировать структуру вещества головного мозга, что не дает возможности использовать их вместо магнитно-резонансной томографии при обследовании пациента с подозрением на эпилепсию.

Оценка результата исследований должна проводиться опытными специалистами, ориентированными в вопросах нейрорадиологии и эпилептологии.

Выводы

Подводя итог всему вышесказанному, следует отметить, что нейровизуализационные методики призваны помочь в локализации и определении характера эпилептогенной патологии, а также формулировании синдромального и этиологического диагноза и прогноза данного заболевания. Магнитно-резонансная томография обладает высокой чувствительностью и специфичностью в выявлении эпилептогенного субстрата и является методикой выбора при подозрении на эпилепсию. Эпилептологическое сканирование должно проводиться на высоко- и сверхвысокопольных томографах, так как такие томографы обладают более высоким пространственно-временным разрешением, что позволяет получить более высокий контраст тканей. Важным параметром эпилептологического протокола является набор дополнительных методик, позволяющий оценить как структуру, так и функциональное состояние тканей головного мозга. Диффузионно-тензорная импульсная последовательность позволяет получить данные о микроструктурной целостности белого вещества (гибель клеток характеризуется разрушением диффузионных барьеров, увеличением MD и снижением FA). Показатели FA у пациентов с височной эпилепсией были значительно снижены во всем белом веществе головного мозга. В результате было статистически достоверно установлено, что общее значение показателей FA у пациентов с эпилепсией снижалось, а MD – увеличивалось. Также признается полезность данной методики в оценке серого вещества, в т.ч. отдельных слоев гиппокампа. Методика спиновой маркировки артериальной крови, при которой используются в качестве контрастного агента протоны водорода воды артериальной крови, дает возможность качественно оценить значения мозгового кровотока, а при использовании пакета программ для постпроцессорной обработки – оценить его количественную оценку (мл/100 г вещества/мин.). Методика pASL может успешно выявлять межприступную асимметрию мозгового кровотока у пациентов с височной эпилепсией и может легко сочетаться с обычной структурной визуализацией для латерализации эпилептического фокуса. Последовательность, ориентированная на выявление эффекта неоднородности магнитного поля при наличии

парамагнетика (SWI), позволяет выявить кровоизлияния, аномально развитые сосуды, патологические отложения железа, а также микрокальцинаты в паренхиме головного мозга. Трехмерная импульсная последовательность градиентного эхо с ускоренным сбором данных (MPRAGE), характеризуется высокой контрастностью между серым и белым веществом и позволяет получать изображения высокого качества с возможностью последующей реконструкции полученных данных в любой плоскости, что необходимо при выявлении мелкой патологии головного мозга и оценки его кортикальной пластинки (толщина, демаркация). Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) измеряет концентрацию метаболитов в веществе мозга неинвазивно и может помочь дифференцировать схожие по виду поражения и обнаружить удаленные поражения вещества 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. Типичные изменения МРС при МТС – снижение пика NAA и повышение пиков Cr и Cho (потеря нейронов и глиоз). У пациентов с височной эпилепсией с односторонними аномальными значениями МРС шанс достичь ремиссии значительно выше, чем у пациентов с двухсторонними изменениями. У пациентов с кортикальными дисплазиями наиболее частой находкой было снижение пика NAA.

Также стоит отметить, что ввиду значительной гетерогенности и зачастую тонкости структурной патологии, лежащей в основе эпилептогенеза, оценка результата исследования должна проводиться опытными специалистами, ориентированными в вопросах нейрорадиологии и эпилептологии.

Литература:

1. Авакян Г. Н., Блинов Д. В., Лебедева А. В., Бурд С. Г., Авакян Г. Г. Классификация эпилепсии Международной противозлептической лиги: пересмотр и обновление 2017 года. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017; 1: 6-25.
2. Авакян Г. Н. Вопросы современной эпилептологии. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2015; 7 (4): 16-21.
3. Мухин К. Ю. Определение и классификация эпилепсии. Проект классификации эпилептических приступов 2016 года. Русский журнал детской неврологии. 2017; 1: 8-20.
4. About ILAE – International League Against Epilepsy. URL: http://www.ilae.org/Visitors/About_ILAE/Index.cfm. Дата обращения: 12.11.2017.
5. Rodionov R., Bartlett P. A., He C. et al. T2 mapping outperforms normalised FLAIR in identifying hippocampal sclerosis. Neuroimage Clin. 2015; 7: 788-791.
6. Pitkänen A., Sutula T. P. Is epilepsy a progressive disorder? Prospects for new therapeutic approaches in temporal-lobe epilepsy. Lancet Neurol. 2002; 1 (3): 173-181.
7. 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: 1315-1329.
8. Mitsueda-Ono T., Ikeda A., Sawamoto N., Aso T., Hanakawa T., Kinoshita M. et al. Internal structural changes in the hippocampus observed on 3-Tesla MRI in patients with mesial temporal lobe epilepsy. Intern Med. 2013. 52 (8): 877-85.
9. Winston G. P., Vos S. B., Burdett J. L., Cardoso M. J., Ourselin S. and Duncan J. S. Automated T2 relaxometry of the hippocampus for temporal lobe epilepsy. Epilepsia. 2017; 58: 1645-1652. DOI:10.1111/epi.13843.
10. Scanlon C., Mueller S. G., Cheong I., Hartig M., Weiner M. W., Laxer K. D. Grey and white matter abnormalities in temporal lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. J. Neurol. 2013; 260: 2320-2329.
11. Никитина М. А., Мухин К. Ю., Глухова Л. Ю., Чадаев В. А., Барлетова Е. И. Клинические латерализационные признаки при симптоматической височной эпилепсии. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2015; 2: 59-64.
12. Pustina D., Doucet G., Sperling M., Sharan A., Tracy J. Increased microstructural white matter correlations in left, but not right, temporal lobe epilepsy. Hum Brain Mapp. 2015; 36: 85-98.
13. Otte W. M., van Eijsden P., Sander J. W., Duncan J. S., Dijkhuizen R. M., Braun K. P. A meta-analysis of white matter changes in temporal lobe epilepsy as studied with diffusion tensor imaging. Epilepsia. 2012; 53: 659-667.
14. Concha L., Kim H., Bernasconi A., Bernhardt B. C., Bernasconi N. Spatial patterns of water diffusion along white matter tracts in temporal lobe epilepsy. Neurology. 2012; 79: 455-462.
15. Sierra A., Laitinen T., Grohn O., Pitkanen A. Diffusion tensor imaging of hippocampal network plasticity. Brain Struct Funct. 2015; 220 (2): 781-801.
16. Sagi Y., Tavor I., Hofstetter S., Tzur-Moryosef S., Blumenfeld-Katzir T., Assaf Y. Learning in the fast lane: new insights into neuroplasticity. Neuron. 2012; 73 (6): 1195-1203.
17. Sierra A., Grohn O., Pitkanen A. Imaging microstructural damage and plasticity in the hippocampus during epileptogenesis. Neuroscience. 2015; 309: 162-172.
18. Lee C. Y., Tabesh A., Benitez A., Helpert J. A., Jensen J. H., Bonilha L. Microstructural integrity of early- versus late-myelinating white matter tracts in medial temporal lobe epilepsy. Epilepsia. 2013; 54: 1801-1809.
19. Budde M. D., Janes L., Gold E., Turtzo L. C., Frank J. A. The contribution of gliosis to diffusion tensor anisotropy and tractography following traumatic brain injury: validation in the rat using Fourier analysis of stained tissue sections. Brain. 2011; 134 (8): 2248-2260.
20. Slinger G., Sinke M. R. T., Braun K. P. J., Otte W. M. White matter abnormalities at a regional and voxel level in focal and generalized epilepsy: A systematic review and meta-analysis. NeuroImage. 2016; 12: 902-909.
21. Diao L., Yu H., Zheng J., Chen Z., Huang D., Yu L. Abnormalities of the uncinate fasciculus correlate with executive dysfunction in patients with left temporal lobe epilepsy. Magn. Reson. Imaging. 2015; 33: 544-550.
22. Concha L., Beaulieu C., Collins D. L., Gross D. W. White-matter diffusion abnormalities in temporal-lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2009; 80: 312-319.
23. McDonald C. R., Ahmadi M. E., Hagler D. J., Tecoma E. S., Iragui V. J., Gharapetian L., Dale A. M., Halgren E. Diffusion tensor imaging correlates of memory and language impairments in temporal lobe epilepsy. Neurology. 2008; 71: 1869-1876.
24. Riley J. D., Franklin D. L., Choi V., Kim R. C., Binder D. K., Cramer S. C., Lin J. J. Altered white matter integrity in temporal lobe epilepsy: association with cognitive and clinical profiles. Epilepsia. 2010; 51: 536-545.

25. Sone D., Matsuda H., Ota M., Maikusa N., Kimura Y., Sumida K., Yokoyama K., Imabayashi E., Watanabe M., Watanabe Y., Okazaki M., Sato N. Impaired cerebral blood flow networks in temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis: A graph theoretical approach. *Epilepsy Behav.* 2016 Sep; 62: 239-45. DOI: 10.1016/j.yebeh.2016.07.016.
26. Lim Y.M., Cho Y.W., Shamim S., Solomon J., Birn R., Luh W.M., Gaillard W.D., Ritzl E.K., Theodore W.H. Usefulness of pulsed arterial spin labeling MR imaging in mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res.* 2008 Dec; 82 (2-3): 183-9.
27. Sone D., Ota M., Yokoyama K., Sumida K., Kimura Y., Imabayashi E., Matsuda H., Sato N. Noninvasive evaluation of the correlation between regional cerebral blood flow and intraventricular brain temperature in temporal lobe epilepsy. *Magn Reson Imaging.* 2016 May 18; 34 (4): 451-4.
28. Guo X., Xu S., Wang G., Zhang Y., Guo L., Zhao B. Asymmetry of cerebral blood flow measured with three-dimensional pseudocontinuous arterial spin-labeling mr imaging in temporal lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. *J Magn Reson Imaging.* 2015; 42 (5): 1386-97.
29. Wolf R.L., Alsop D.C., Levy-Reis I., Meyer P.T., Maldjian J.A., Gonzalez-Atavales J., French J.A., Alavi A., Detre J.A. Detection of Mesial Temporal Lobe Hypoperfusion in Patients with Temporal Lobe Epilepsy by Use of Arterial Spin Labeled Perfusion MR Imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001 Aug; 22 (7): 1334-41.
30. Yusuf Oner A., Bulent Eryurt, Murat Ucar, Irem Capraz, Gokhan Kurt, Erhan Bilir, Turgut Tali. pASL versus DSC perfusion MRI in lateralizing temporal lobe epilepsy. *Acta Radiologica.* 2015; 56 (4): 477-81.
31. Xu M.Y., Ergene E., Zagardo M., Tracy P.T., Wang H., Liu W., Machens N.A., Proton MR Spectroscopy in Patients with Structural MRI-Negative Temporal Lobe Epilepsy. *J Neuroimaging.* 2015; 25: 1030-1037. DOI: 10.1111/jon.12263.
32. 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: 149-158.
33. McLean M.A., Koepp M., Woermann F.G. Magnetic resonance spectroscopy in patients with epilepsy. In: Luders H (ed) *Textbook of epilepsy Surgery.* Informa Healthcare. 2008; London.

References:

1. Avakyan G.N., Blinov D.V., Lebedeva A.V., Burd S.G., Avakyan G.G. Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions (in Russian). 2017; 1: 6-25.
2. Avakyan G.N. Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions (in Russian). 2015; 7 (4): 16-21.
3. Mukhin K.Yu. Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions (in Russian). 2017; 1: 8-20.
4. About ILAE – International League Against Epilepsy. URL: http://www.ilae.org/Visitors/About_ILAE/Index.cfm. Accessed: 12.11.2017.
5. Rodionov R., Bartlett P.A., He C. et al. T2 mapping outperforms normalised FLAIR in identifying hippocampal sclerosis. *Neuroimage Clin.* 2015; 7: 788-791.
6. Pitkanen A., Sutula T.P. Is epilepsy a progressive disorder? Prospects for new therapeutic approaches in temporal-lobe epilepsy. *Lancet Neurol.* 2002; 1 (3): 173-181.
7. 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: 1315-1329.
8. Mitsueda-Ono T., Ikeda A., Sawamoto N., Aso T., Hanakawa T., Kinoshita M. et al. Internal structural changes in the hippocampus observed on 3-Tesla MRI in patients with mesial temporal lobe epilepsy. *Intern Med.* 2013. 52 (8): 877-85.
9. Winston G.P., Vos S.B., Burdett J.L., Cardoso M.J., Ourselin S. and Duncan J.S. Automated T2 relaxometry of the hippocampus for temporal lobe epilepsy. *Epilepsia.* 2017; 58: 1645-1652. DOI:10.1111/epi.13843.
10. Scanlon C., Mueller S.G., Cheong I., Hartig M., Weiner M.W., Laxer K.D. Grey and white matter abnormalities in temporal lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. *J. Neurol.* 2013; 260: 2320-2329.
11. Nikitina M.A., Mukhin K.Yu., Glukhova L.Yu., Chadaev V.A., Barletova E.I. Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions (in Russian). 2015; 2: 59-64.
12. Pustina D., Doucet G., Sperling M., Sharan A., Tracy J. Increased microstructural white matter correlations in left, but not right, temporal lobe epilepsy. *Hum Brain Mapp.* 2015; 36: 85-98.
13. Otte W.M., van Eijdsen P., Sander J.W., Duncan J.S., Dijkhuizen R.M., Braun K.P.A. meta-analysis of white matter changes in temporal lobe epilepsy as studied with diffusion tensor imaging. *Epilepsia.* 2012; 53: 659-667.
14. Concha L., Kim H., Bernasconi A., Bernhardt B.C., Bernasconi N. Spatial patterns of water diffusion along white matter tracts in temporal lobe epilepsy. *Neurology.* 2012; 79: 455-462.
15. Sierra A., Laitinen T., Grohn O., Pitkanen A. Diffusion tensor imaging of hippocampal network plasticity. *Brain Struct Funct.* 2015; 220 (2): 781-801.
16. Sagi Y., Tavor I., Hofstetter S., Tzur-Moryosef S., Blumenfeld-Katzir T., Assaf Y. Learning in the fast lane: new insights into neuroplasticity. *Neuron.* 2012; 73 (6): 1195-1203.
17. Sierra A., Grohn O., Pitkanen A. Imaging microstructural damage and plasticity in the hippocampus during epileptogenesis. *Neuroscience.* 2015; 309: 162-172.
18. Lee C.Y., Tabesh A., Benitez A., Helsen J.A., Jensen J.H., Bonilha L. Microstructural integrity of early- versus late-myelinating white matter tracts in medial temporal lobe epilepsy. *Epilepsia.* 2013; 54: 1801-1809.
19. Budde M.D., Janes L., Gold E., Turtzo L.C., Frank J.A. The contribution of gliosis to diffusion tensor anisotropy and tractography following traumatic brain injury: validation in the rat using Fourier analysis of stained tissue sections. *Brain.* 2011; 134 (8): 2248-2260.
20. Slinger G., Sinke M.R.T., Braun K.P.J., Otte W.M. White matter abnormalities at a regional and voxel level in focal and generalized epilepsy: A systematic review and meta-analysis. *NeuroImage.* 2016; 12: 902-909.
21. Diao L., Yu H., Zheng J., Chen Z., Huang D., Yu L. Abnormalities of the uncinate fasciculus correlate with executive dysfunction in patients with left temporal lobe epilepsy. *Magn. Reson. Imaging.* 2015; 33: 544-550.
22. Concha L., Beaulieu C., Collins D.L., Gross D.W. White-matter diffusion abnormalities in temporal-lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2009; 80: 312-319.
23. McDonald C.R., Ahmadi M.E., Hagler D.J., Tecoma E.S., Iragui V.J., Gharapetian L., Dale A.M., Halgren E. Diffusion tensor imaging correlates of memory and language impairments in temporal lobe epilepsy. *Neurology.* 2008; 71: 1869-1876.
24. Riley J.D., Franklin D.L., Choi V., Kim R.C., Binder D.K., Cramer S.C., Lin J.J. Altered white matter integrity in temporal lobe epilepsy: association with cognitive and clinical profiles. *Epilepsia.* 2010; 51: 536-545.
25. Sone D., Matsuda H., Ota M., Maikusa N., Kimura Y., Sumida K., Yokoyama K., Imabayashi E., Watanabe M., Watanabe Y., Okazaki M., Sato N. Impaired cerebral blood flow networks in temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis: A graph theoretical approach. *Epilepsy Behav.* 2016 Sep; 62: 239-45. DOI: 10.1016/j.yebeh.2016.07.016.
26. Lim Y.M., Cho Y.W., Shamim S., Solomon J., Birn R., Luh W.M.,

- Gaillard W. D., Ritzl E. K., Theodore W. H. Usefulness of pulsed arterial spin labeling MR imaging in mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res.* 2008 Dec; 82 (2-3): 183-9.
27. Sone D., Ota M., Yokoyama K., Sumida K., Kimura Y., Imabayashi E., Matsuda H., Sato N. Noninvasive evaluation of the correlation between regional cerebral blood flow and intraventricular brain temperature in temporal lobe epilepsy. *Magn Reson Imaging.* 2016 May 18; 34 (4): 451-4.
28. Guo X., Xu S., Wang G., Zhang Y., Guo L., Zhao B. Asymmetry of cerebral blood flow measured with three-dimensional pseudocontinuous arterial spin-labeling mr imaging in temporal lobe epilepsy with and without mesial temporal sclerosis. *J Magn Reson Imaging.* 2015; 42 (5): 1386-97.
29. Wolf R. L., Alsop D. C., Levy-Reis I., Meyer P. T., Maldjian J. A., Gonzalez-Atavales J., French J. A., Alavi A., Detre J. A. Detection of Mesial Temporal Lobe Hypoperfusion in Patients with Temporal Lobe Epilepsy by Use of Arterial Spin Labeled Perfusion MR Imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001 Aug; 22 (7): 1334-41.
30. Yusuf Oner A., Bulent Eryurt, Murat Ucar, Irem Capraz, Gokhan Kurt, Erhan Bilir, Turgut Tali. pASL versus DSC perfusion MRI in lateralizing temporal lobe epilepsy. *Acta Radiologica.* 2015; 56 (4): 477-81.
31. Xu M. Y., Ergene E., Zagardo M., Tracy P. T., Wang H., Liu W., Machens N. A., Proton MR Spectroscopy in Patients with Structural MRI-Negative Temporal Lobe Epilepsy. *J Neuroimaging.* 2015; 25: 1030-1037. DOI: 10.1111/jon.12263.
32. 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: 149-158.
33. McLean M.A., Koepp M., Woermann F.G. Magnetic resonance spectroscopy in patients with epilepsy. In: Luders H (ed) *Textbook of epilepsy Surgery.* Informa Healthcare. 2008; London.

Сведения об авторах:

Перепелова Елена Михайловна – к.м.н., заведующая отделением лучевой диагностики, ФГАОУ ВО ПМГМУ им И. М. Сеченова МЗ РФ. Адрес: ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Россия, 119048. E-mail: elena_perepelova@mail.ru.

Перепелов Всеволод Андреевич – врач-ординатор, ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России. Адрес: ул. Баррикадная, д. 2/1, Москва, Россия, 125993. E-mail: sevash84@mail.ru.

Меркулова Мария Сергеевна – врач-ординатор, ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России. Адрес: ул. Баррикадная, д. 2/1, Москва, Россия, 125993. E-mail: maria_merkulova@yahoo.com.

Authors' information:

Perepelova Elena Mikhailovna – MD, PhD, Head of the Department of Radiology, the First Moscow National Medical University n.a. I. M. Sechenov Address: ul. Trubetskaya, 8-2, Moscow, Russia, 119048. E-mail: elena_perepelova@mail.ru.

Perepelov Vsevolod Andreevich – MD, Medical Resident at the Russian Medical Academy of Postgraduate Education. Address: ul. Barrikadnaya, 2/1, Moscow, Russia, 125993. E-mail: sevash84@mail.ru.

Merkulova Mariya Sergeevna – MD, Medical Resident at the Russian Medical Academy of Postgraduate Education. Address: ul. Barrikadnaya, 2/1, Moscow, Russia, 125993. E-mail: maria_merkulova@yahoo.com.