

ISSN 2077-8333 (print)
ISSN 2311-4088 (online)

ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния

2018 Том 10 №4



EPILEPSY AND PAROXYZMAL CONDITIONS

2018 Vol. 10 №4

www.epilepsia.su

Включен в перечень ведущих
рецензируемых журналов и изданий ВАК

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта www.epilepsia.su. Не предназначено для использования в коммерческих целях. Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 646-64-95, эл. почта: info@irbis-1.ru. Copyright © 2018 Издательство ИРБИС. Все права охраняются.

Прехирургическая неинвазивная диагностика фокальной кортикальной дисплазии

Мирхайдаров С. В.^{1,2}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова
Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)
(ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Москва 119048, Россия)

² Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный центр нейрохирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации
(ул. 4 км. Червишевского тракта, д. 5, г. Тюмень 625032, Россия)

Для контактов: Мирхайдаров Салават Валентинович, e-mail: salavatmirkhaydarov@gmail.com.

Резюме

Цель обзора – осветить наиболее актуальные и современные методики диагностики фокальной кортикальной дисплазии, доступные в клинической практике. Около 30% пациентов с эпилепсией имеют фармакорезистентные формы. При этом у детей из группы нарушений развития коры головного мозга наиболее частой патологией, ассоциированной с медикаментозно-резистентной эпилепсией, является фокальная кортикальная дисплазия (ФКД). ФКД классифицирована на основании патоморфологической картины на подтипы в зависимости от особенностей нарушения citoархитектоники коры головного мозга и характерных патологических изменений клеток в составе коры головного мозга. Большая часть фокальных кортикальных дисплазий успешно определяется при помощи методов нейровизуализации. Так, появление МРТ ознаменовало новую эпоху в диагностике эпилепсии, обусловив значительные успехи в диагностике данного заболевания. Следует отметить, что хирургические методы лечения занимают ведущую роль в лечении медикаментозно-резистентной эпилепсии, обусловленной фокальной кортикальной дисплазией.

Ключевые слова

Фокальная кортикальная дисплазия, электроэнцефалография, магнитно-резонансная томография.

Статья поступила: 23.10.2018 г.; в доработанном виде: 30.11.2018 г.; принята к печати: 21.12.2018 г.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии необходимости раскрытия финансовой поддержки или конфликта интересов в отношении данной публикации.

Для цитирования

Мирхайдаров С. В. Прехирургическая неинвазивная диагностика фокальной кортикальной дисплазии. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2018; 10 (4): 061-071. DOI: 10.17749/2077-8333.2018.10.4.061-071.

Presurgical non-invasive diagnosis of focal cortical dysplasia

Mirkhaydarov S. V.

¹ Sechenov First Moscow State Medical University (8-2 Trubetskaya Str., Moscow 119048, Russia)

² Federal center of neurosurgery (4 km. Chervishevskogo trakta Str., 5, Tyumen 625032, Russia)

Corresponding author: Salavat V. Mirkhaydarov, e-mail: salavatmirkhaydarov@gmail.com.

Summary

In recent decades, MRI increased the success rate of the diagnosis and surgical treatment of epilepsy. Approximately 30% of patients with epilepsy suffer from the drug-resistant form of this disease. Focal cortical dysplasia is the most

common abnormality of cortical development that is often associated with drug-resistance. Surgery has an important role in the treatment of epilepsy caused by focal cortical dysplasia. Focal cortical dysplasia is classified by its morphological characteristics. By large, focal cortical dysplasia can be diagnosed using the up-to-date neuroimaging tools. The aim of that paper is to review the methods available for the diagnosis of focal cortical dysplasia.

Key words

Focal cortical dysplasia, electroencephalography, magnetic resonance imaging.

Received: 23.10.2018; **in the revised form:** 30.11.2018; **accepted:** 21.12.2018.

Conflict of interests

The author declares no financial support or conflict of interest with respect to this publication.

For citation

Mirkhaydarov S.V. Presurgical non-invasive diagnosis of focal cortical dysplasia. *Epileptsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions*. 2018; 10 (4): 061-071 (in Russian). DOI: 10.17749/2077-8333.2018.10.4.061-071.

Введение / Introduction

Термин фокальная кортикальная дисплазия (ФКД) был впервые предложен Taylor в 1971 г. для описания нарушения организации коры головного мозга и патологически измененных клеток. Изменения были обнаружены у 10 пациентов, оперированных по поводу медикаментозно-резистентной эпилепсии. Таким образом, фокальная кортикальная дисплазия была впервые определена, как патологический субстрат фармакорезистентной эпилепсии, на который можно воздействовать хирургически [1]. В последние два десятилетия наблюдается значительный рост диагностики ФКД, что связано с развитием методов нейровизуализации [2]. Успехи нейровизуализации подстегнули интерес к изучению данной патологии и появлению классификации, основанной на патоморфологической картине. В ней ФКД делится на подтипы в зависимости от особенностей нарушений цитоархитектоники коры головного мозга и характерных патологических клетках в составе коры головного мозга.

ФКД является самой распространенной патологией у детей с нарушениями развития коры головного мозга и часто ассоциирована с медикаментозно-резистентной эпилепсией [3]. Фармакорезистентность в совокупности с фокальным началом приступа является показанием к оперативному вмешательству, поэтому хирургические методы лечения занимают важную роль в лечении медикаментозно-резистентной эпилепсии, вызванной фокальной кортикальной дисплазией [4]. Контроль над приступами может быть достигнут в 50-80% случаев при резекционных операциях [5]. Большая часть фокальных кортикальных дисплазий может быть обнаружена при помощи современных методов нейровизуализации.

Цель обзора – осветить наиболее актуальные и современные методики диагностики фокальной кортикальной дисплазии, доступные в клинической практике.

Классификация и типы фокальной кортикальной дисплазии

Патоморфологические изменения, наблюдаемые при ФКД, затрагивают не только кору больших полушарий, но и субкортикальное белое вещество [4,6]. Степень вовлечения головного мозга в патологический процесс и локализация изменений цитологической картины коры головного мозга вариабельна, что послужило основанием для разработки трехуровневой системы классификации фокальной кортикальной дисплазии, основанной на гистологическом варианте ФКД [7].

Электрофизиологические методы исследования**Электроэнцефалография**

В качестве золотого стандарта в диагностике эпилепсии используется электроэнцефалография (ЭЭГ). Особенно зарекомендовала себя длительная ЭЭГ с записью межприступного периода и иктальных событий. Видео-ЭЭГ-мониторинг – современный метод диагностики эпилепсии, позволяющий визуализировать эпилептические припадки, проводить клинко-электроэнцефалографические сопоставления и уточнять форму заболевания. Мониторинг позволяет установить фокальную природу заболевания, а также идентифицировать эпилептогенную сеть, участвующую в появлении и распространении эпилептических приступов, что дает возможность сформулировать гипотезу о возможной локализации эпилептогенной зоны [8,9].

При ФКД I типа отсутствуют специфические изменения по данным ЭЭГ. Большинство пациентов имеют множественные межприступные эпилептиформные разряды. Зачастую интериктальные разряды могут выглядеть как генерализованная активность, в таком случае выявить фокальную природу заболевания удастся только при записи ЭЭГ по си-

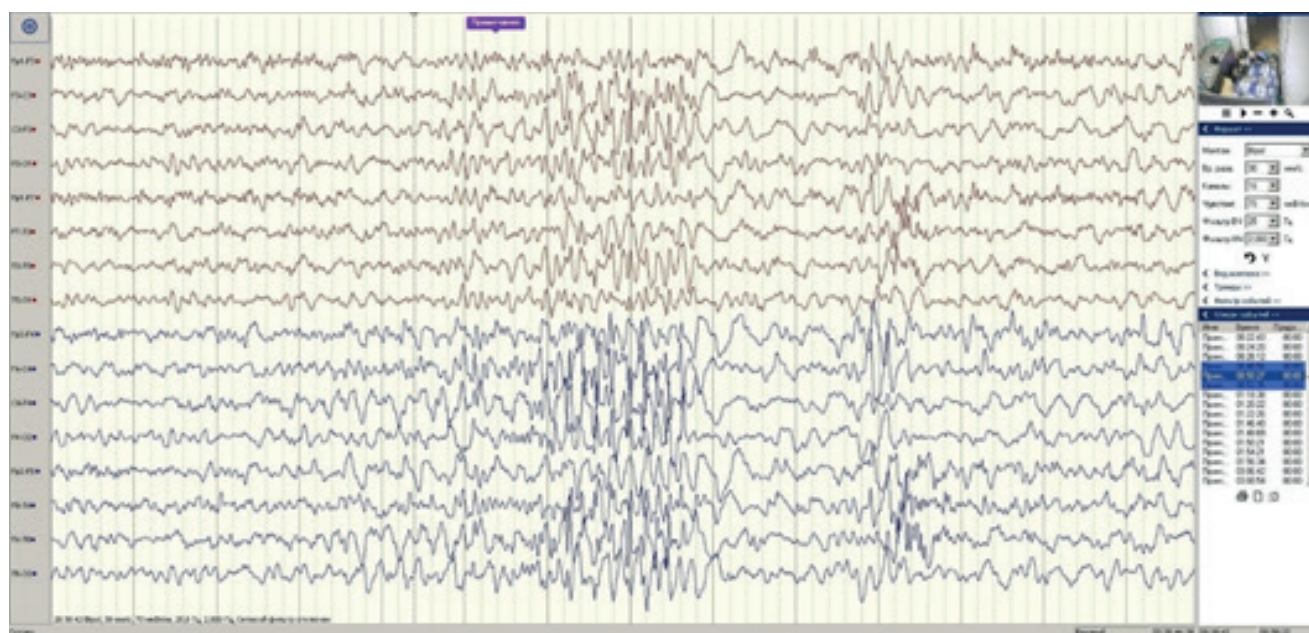


Рисунок 1. Больной Ш., 5 лет, с гистологически подтвержденной ФКД IIa типа.

Видео-ЭЭГ-мониторинг выявил эпилептиформную активность над заднелобной, теменно-височной областью справа и парциальные приступы с вторичной генерализацией.

Figure 1. Patient Sh., 5 years old, with histologically confirmed focal cortical dysplasia of the IIa type.

Video-EEG monitoring revealed the epileptiform activity over the posterior frontal and the right parietal-temporal areas, as well as partial seizures with secondary generalization.

стеме 10/10 в референтном монтаже с монополярным внеголовным электродом. У пациентов детского возраста такие иктальные ЭЭГ могут привести к ошибочному представлению об ограниченности поражения коры головного мозга при ФКД I типа. С другой стороны, приступные ЭЭГ могут записывать мультифокальные разряды, уни- и билатеральные спайки, вызванные распространением волны возбуждения из эпилептогенной зоны в другие области. Однако вышеописанные характеристики ЭЭГ при ФКД I типа являются скорее исключением, чем правилом [10].

ФКД II типа часто представлена на ЭЭГ в виде фокальных ритмических интериктальных разрядов, анатомически совпадающих с областью расположения дисплазии, выявляемой по данным нейровизуализации (рис. 1) [11]. При этом небольшие ФКД II типа, локализованные в глубине борозды, могут быть не зарегистрированы при скальповой ЭЭГ [12]. Электрофизиологически ФКД II типа проявляет себя в форме почти непрерывных спайков, спайк-волн, полиспайков и так называемых «щеток» (распространенные быстрые ритмы), которые чередуются с относительно спокойными периодами [13]. Описанные явления становятся более непрерывными и выраженными в период сонливости и non-REM [14], стадии сна, прерываясь лишь очаговым подавлением с изменением фоновой активности. Эпилептиформные разряды имеют тенденцию распро-

страняться от ФКД II типа на окружающие участки коры головного мозга, особенно при ФКД IIb типа. На приступных ЭЭГ выявляется усиление выраженности спайков, постепенно перекрываемых разрядами полиспайков, переходящее в высоковольтные быстро-спаечные разряды и низковольтную быструю активность. «Щетки» чаще возникают в начале приступа [15].

Методы нейровизуализации фокальной кортикальной дисплазии

Магнитно-резонансная томография

Всех пациентов, направляемых на магнитно-резонансную томографию (МРТ) по поводу эпилепсии, следует обследовать на магнитно-резонансных томографах с напряженностью магнитного поля минимум 1,5-3Т и толщиной срезов менее 3 мм, используя специально подобранную программу (МРТ по программе эпилепсия) [16]. МРТ по программе «эпилепсия» не является унифицированным и изменяется согласно нуждам конкретной клиники. Важно стремиться к получению максимально возможного количества срезов. Также необходимо оптимальное расположение срезов в каждой конкретной ситуации, исследование всего головного мозга, максимальное обездвиживание пациента [17,18]. Проводить описание томограмм должен высококвалифицированный специалист. Дело в том, что при

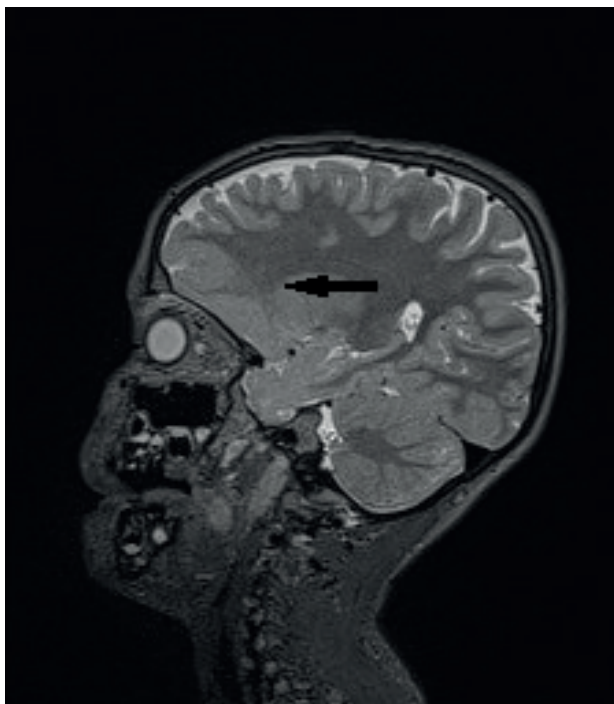


Рисунок 2. Пациент П., 4 года, с гистологически подтвержденной ФКД IIb типа в правой лобной доле.

На МРТ-снимке в правой лобной доле имеется утолщение коры, нечеткость границы между серым и белым веществом, неправильной формы борозды, трансмантальная дисплазия.

Figure 2. Patient P., 4 years old, with histologically confirmed FCD of type IIb in the right frontal lobe.

The MRI image shows a cortical thickening and a blurred boundary between the gray and white matter, as well as an irregularly shaped sulcus and trans-mantle dysplasia in the right frontal lobe.

использовании МРТ-протоколов и трактовки результатов специалистами не из epileptологических центров вероятность распознавания epileптогенного очага составляет 39%, при использовании «эпипротокола» – 50%, а при описании результата опытным специалистом процент выявления ФКД возрастает до 91 [19,20]. Фокальная кортикальная дисплазия часто имеет небольшие размеры, никак не изменяется с течением времени и может быть упущена при рассмотрении МРТ. В связи с этим радиолог должен быть хорошо осведомлен о клинической картине заболевания, особенно важно учитывать данные семиологии приступов – это подскажет, в какой области головного мозга начинается приступ.

МРТ-семиотика при ФКД:

- локальное утолщение/уплощение либо атрофия коры;
- нечеткость границ между серым и белым веществом;
- наличие борозд неправильной формы;

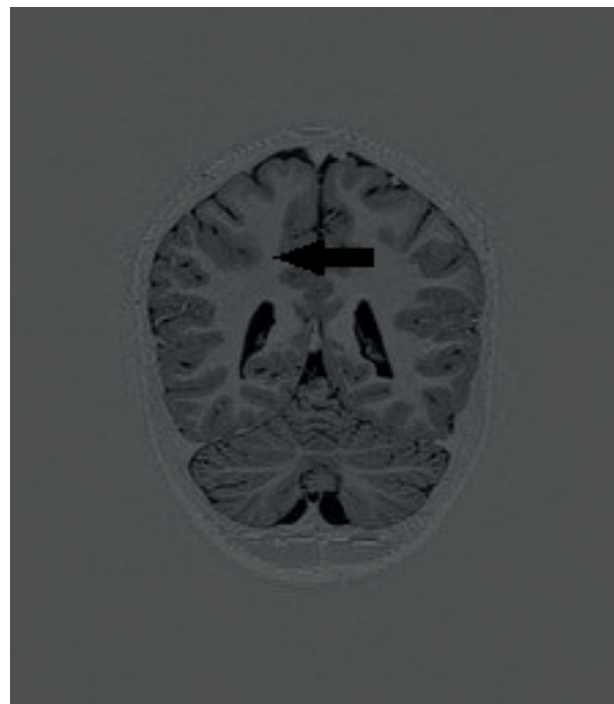


Рисунок 3. Пациент Ш., 6 лет, с гистологически подтвержденной ФКД IIa типа правой лобно-теменной области.

В правой лобно-теменной области определяется утолщение коры, нечеткость границ между серым и белым веществом, неправильная форма борозды.

Figure 3. Patient Sh., 6 years old, with histologically confirmed FCD of the IIa type in the right frontal-parietal region.

In the right frontal-parietal region, there is a cortical thickening, blurred boundaries between the gray and white matter, and an irregularly shaped sulcus.

– гетеротопия (смещение серого вещества к желудочкам);

– трансмантальная дисплазия (распространение серого вещества через белое вещество к желудочкам головного мозга) (рис. 2,3);

– гипointенсивность сигнала от белого вещества на T1-взвешенном изображении;

– гиперинтенсивность сигнала от белого вещества на T2- и FLAIR-режимах [21];

– комплекс «расширение субарахноидального пространства и углубление в кору».

У детей в возрасте до 3 лет весьма непросто оценить степень различия сигнала между серым и белым веществом, что связано с незавершенной миелинизацией нервных волокон. Таким образом, основными диагностическими критериями ФКД являются аномалии строения борозд и гиперинтенсивность белого вещества в T2-режиме [22].

Частота встречаемости МРТ-признаков распределилась следующим образом: 1) в 5-84% случаев трансмантальная дисплазия, выявляющаяся исклю-

чительно у пациентов с ФКД II типа; 2) в 30-93% случаев утолщение коры головного мозга. Эти два признака чаще всего встречаются у больных с ФКД II типа. Реже всего регистрируется гиперинтенсивный сигнал от белого вещества головного мозга на T2-ВИ – лишь в 20% случаев. При этом транмантальная дисплазия чаще встречалась у пациентов с ФКД IIb типа, чем у пациентов с ФКД IIa типа. У пациентов с гистологически подтвержденным диагнозом ФКД II типа отмечалось большее количество МР признаков (в среднем 5,5), чем у пациентов без гистологически подтвержденного диагноза ФКД II типа (в среднем 3,3) [21,22]. При морфологическом исследовании гистологического материала после хирургического вмешательства определена значительно большая площадь корковой дисплазии, выходящая за пределы видимых на МРТ-изображениях изменений [23].

Встречаемость МР-признаков для ФКД I и II типа была сходна, за исключением трансмантальной дисплазии – специфического признака ФКД II типа [24]. Атрофия коры и ее истончение чаще встречалась при ФКД I типа. При ФКД тип I частота МР-негативных томограмм во взрослой популяции может достигать 54% [21]. Частота МР-негативных томограмм составляет 36 и 37% для ФКД Ia и Ib типов соответственно [25], в то время как МР-негативные томограммы при ФКД II типа встречаются лишь в 15% случаев [26].

МР-негативные томограммы и отсутствие локализуемых изменений на ЭЭГ обуславливают необходимость использования методов радионуклеидной нейровизуализации.

Позитронно-эмиссионная томография

При использовании позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) с 18F-фтордезоксиглюкозой (18-ФДГ/ПЭТ) у МРТ-негативных пациентов с ФКД II типа, что способствует увеличению выявляемости ФКД и улучшает функциональный результат после резекции [27]. Небольшие ФКД определяются на томограммах в виде зон гипометаболизма с максимальной степенью в проекции ФКД и эпилептогенной зоны, окруженной менее интенсивной зоной гипометаболизма, соответствующей зоне распространения разряда и эпилептогенной сети [28]. Позитивные ПЭТ-изображения наблюдаются у пациентов с ФКД вне зависимости от типа от 69 до 92% случаев [24,25]. Также ПЭТ по сравнению с МРТ более чувствителен к ФКД у новорожденных и грудных детей [29]. В исследовании Halas с соавт. с участием 71 пациента было описано 74,6% ПЭТ-позитивных случаев с ФКД I и II типа, частота последних была по 56,6 и 43,4% соответственно. Из всех больных с ФКД I типа ПЭТ-позитивные томограммы имели 71% пациентов, с ФКД II типа – 79% пациентов. Таким образом, ПЭТ является полезным инструментом в предоперационной диагностике ФКД [28,30]. Добавление к ПЭТ современных методов морфологической нейровизуализации, таких как МРТ, улучшает предоперационную неинвазивную диагностику ФКД, особенно у пациентов с ФКД I типа

и МРТ-негативными томограммами. ПЭТ/МРТ способствует улучшению результатов хирургического лечения эпилепсии, так как позволяет более точно определить границы ФКД и увеличивает возможность тотального удаления ФКД [31].

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) использует радиоизотопы, такие как 99mTc-гексаметиленпропиленамин, 99mTc-этилцистеиндимер для измерения кровотока и сравнения полученных результатов межприступных данных с иктальными результатами. Как только у больного начинается эпилептический приступ, подтвержденный по ЭЭГ, ему вводится радиофармпрепарат. Во время приступа наблюдается гиперактивация нейронов и по механизмам собственной регуляции в этой области увеличивается кровоток, что приводит к нарастанию накопления радиофармпрепарата в очаге. Метод позволяет одновременно оценить кровоток всего мозга, включая области, малодоступные для регистрации субдуральными электродами. Среди недостатков ОФЭКТ следует выделить следующие: 1) минимальное время достижения радиофармпрепаратом головного мозга составляет 1 мин., за это время происходит значительное распространения возбуждения в прилегающие области, что может обусловить диффузное и не локализуемое увеличение концентрации радиофармпрепарата, поэтому использование метода не возможно для точной локализации эпилептогенного очага [32]; 2) пространственное разрешение томограмм не позволяет с высокой точностью локализовать эпилептогенную зону. Приступные ОФЭКТ выявляют зону начала и распространения приступа. Участок с наибольшим увеличением кровотока рассматривается как зона начала приступа [33]. При использовании ОФЭКТ совместно с МРТ и ЭЭГ для локализации ФКД определяется зона увеличения кровотока в пределах очага или доли, совпадающая с данными МРТ и ЭЭГ. Полная резекция зоны гиперперфузии, определенной по данным ОФЭКТ – такой же предиктор положительного результата, как и резекция эпилептогенной зоны, определенной по данным МРТ и ЭЭГ. Следует иметь в виду, что зона увеличения кровотока по данным ОФЭКТ больше, чем зона измененной ткани, полученная по данным МРТ и ЭЭГ, следовательно, резекция ФКД по данным ОФЭКТ приводит к более обширному удалению, большей вероятности положительного результата, однако и к большей вероятности осложнений. Применение ОФЭКТ у больных с МРТ-негативной эпилепсией позволило локализовать диспластичный участок головного мозга и добиться положительного послеоперационного результата в 85% случаев. У пациентов, рассматриваемых для реоперации, резекция зоны гиперперфузии, обнаруженной по данным ОФЭКТ, яв-

ляется предвестником положительного послеоперационного исхода [34].

Совместная регистрация ОФЭКТ и МРТ

При совместной регистрации ОФЭКТ и МРТ (англ. — subtraction ictal single proton emission computed tomography coregistered to magnetic resonance imaging, SISCOM) появляется возможность получения более полной информации, так как увеличивается разрешающая способность, что позволяет точнее определить эпилептогенный очаг с целью наложения корковых электродов, определение зоны начала приступа и проведения последующей операции [35]. При сравнении ОФЭКТ и SISCOM выявлено, что последнее более чувствительно к вневисочной эпилепсии. Объясняется это следующими причинами: экстратемпоральная эпилепсия начинается в коре, которая больше по площади; вневисочные приступы характеризуются более короткой продолжительностью, гипермоторным и ночным характером, что затрудняет введение радиофармпрепарата; экстратемпоральные приступы распространяются быстрее, чем височные [36], что приводит к более диффузному накоплению радиофармпрепарата. Доказано, что тотальное удаление экстратемпорального эпилептогенного очага, определенного по SISCOM, ассоциировано с более благоприятным послеоперационным результатом по сравнению с 18ФДГ-ПЭТ в МР-негативных случаях. Однако не всегда имеется необходимость тотально резецировать эпилептогенную зону, определенную по средствам SISCOM, для достижения положительного результата хирургического лечения эпилепсии. У больных с субтотальным удалением эпилептогенного очага положительный результат хирургического лечения объясняется тем, что зона гиперперфузии демонстрирует различные модели распространения возбуждения [35].

Магнитоэнцефалография

Магнитоэнцефалография (МЭГ) — это неинвазивная методика исследования магнитного поля, генерируемого нейронами головного мозга. Данная методика имеет точное пространственное разрешение. МЭГ обычно регистрируется совместно с МРТ для получения проекции магнитного поля на МР-изображения. МЭГ более чувствительна к глубинному распространению сигнала, в то время как ЭЭГ чувствительнее к радиальному распространению сигнала. Преимущество МЭГ перед ЭЭГ заключается в способности регистрации эпилептической активности с меньшей по площади участка мозга (3–4 см²) и лучшей пространственной локализации эпиочага (2–3 мм), чем у ЭЭГ (6–20 см² и 7–10 мм) [37]. В большинстве случаев МЭГ локализует диполи в пределах эпилептогенного поражения и в меньшей степени — в области раздражения коры головного мозга. МЭГ особенно полезна при инвазивном ЭЭГ в случаях, когда клиницист имеет дело с небольшими по пло-

щади и МР-негативными ФКД, которые имеют тенденцию локализоваться в глубине борозд и упускаются из вида в 80% случаев даже опытными нейрорадиологами [38,39]. МЭГ одинаково чувствительна к ФКД I и II типа. По данным МЭГ, у пациентов с ФКД спайки менее продолжительные и имеют более крутой подъем, что, вероятно, связано с синхронизацией небольшого участка коры головного мозга. При одновременной регистрации МЭГ и субдуральной ЭЭГ было выявлено, что МЭГ более чувствителен к поражениям, локализующимся поверхностно [40]. У пациентов с фармакорезистентной эпилепсией, обусловленной ФКД в пределах 2 см, и частыми эписпайками, по данным ЭЭ, определяется область с бета-ритмом, дополнительно подтверждающая эпилептогенность данного поражения [41]. Гамма-ритм является маркером эпилептогенной зоны, даже если не сопровождается появлением межприступных эпилептиформных разрядов [42]. Послеоперационный результат лучше у пациентов с ФКД II типа при использовании МЭГ [43].

Функциональная МРТ

Функциональная МРТ (фМРТ) измеряет мозговой кровоток, регистрируя изменения содержания кислорода крови в наиболее активной области головного мозга. Изменение кровотока при интериктальной эпилептической активности возникает в большинстве случаев [44]. У больных с ФКД эта методика может применяться в комбинации с ЭЭГ для регистрации эпилептиформной активности либо самостоятельно для определения незаменимых зон коры головного мозга [12,45,46]. Комбинированное ЭЭГ/фМРТ раскрывает свой диагностический потенциал только при наличии интериктальных разрядов. Наличие множественных очагов усиления кровотока, по данным ЭЭГ/фМРТ, свидетельствует о присутствии большого количества эпилептогенных очагов, что подтверждается данными инвазивного ЭЭГ. Интересным фактом является то, что в исследовании Thornton с соавт. все больные с МР-негативными ФКД имели соответствие между ЭЭГ/фМРТ и инвазивным ЭЭГ [44]. У пациентов с ФКД эта методика может служить в качестве одного из критериев для определения необходимости и локализации наложения субдуральных электродов [47]. В другом исследовании с охватом большого количества пациентов утверждается, что резекция локальных эпилептогенных очагов в пределах, выявленных по данным ЭЭГ/фМРТ, обуславливает хороший результат в послеоперационном периоде. Имеются данные об изменении кровотока во время межприступных разрядов не только в коре головного мозга, но и в подкорковых структурах, что свидетельствует о широком вовлечении структур головного мозга в эпилептическую сеть. Результаты ЭЭГ/фМРТ у пациентов с различными гистологическими типами ФКД не показали существенных отличий в измене-

нии кровотока при межприступной эпилептиформной активности [46,47]. Значимость интериктальной эпилептиформной активности в клинической практике в настоящее время до конца не установлена.

С помощью фМРТ определяют первичную сенсомоторную кору, локализацию речевой области, зоны, ответственные за память. Исследования подтверждают высокое соответствие между фМРТ и стимуляцией коры головного мозга при определении первичной сенсомоторной коры [48]. Совпадение результатов фМРТ и теста Вада относительно локализации речевых центров продемонстрирована в результатах нескольких исследований [49,50]. фМРТ не способна дифференцировать области мозга, отвечающие за конкретную функцию от областей, которые лишь частично участвуют в этой нейрональной сети и в случае повреждения компенсируются другими участками этой же сети [51]. Имеющиеся данные о функциях областей коры с ФКД противоречивы [52,53].

Существует мнение, что ФКД I типа участвует в нормальном функционировании пораженной области мозга в отличие от ФКД II типа [2,54]. У пациентов с фокальными формами эпилепсии, особенно с эпилептогенными очагами, расположенными вблизи речевых и сенсомоторных областей, распространенность атипичных форм латерализации речи гораздо выше по сравнению со здоровыми [51,55]. Атипичное или даже билатеральное расположение речевых зон связано с реорганизацией функции коры головного мозга, что особенно ярко выражено у пациентов детского возраста [56]. фМРТ лучше применять для прогнозирования мнестических нарушений в послеоперационном периоде у больных, оперированных по поводу височной эпилепсии [57]. В настоящее время фМРТ используется только в совокупности с дополнительными методами перед хирургическим вмешательством.

Магнитно-резонансная спектроскопия

Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) – методика, позволяющая определить концентрацию метаболитов в интересующем участке головного мозга. Так, при ФКД изменяется концентрация креатинина (Cr), N-ацетил-аспартата (NAA), Холина (Cho) [58-60]. Больные с ФКД показали уменьшение концентрации NAA и повышение Cho [61], уменьше-

ние отношения NAA/Cr в области эпилептогенного поражения [59]. О повышении концентрации креатинина, как маркера частых приступов, имеются весьма противоречивые данные [58]. Повышение уровня лактата связывают с эпилептиформной активностью в межприступном периоде [61]. В комбинации с остальными методиками спектроскопия может служить для определения локализации эпилептогенного поражения.

3D-реконструкция на основе ЭЭГ

С помощью компьютерной обработки удалось скомбинировать ЭЭГ и МРТ с последующим наложением эпилептиформной активности в виде цветного обозначения на МРТ, что оказалось полезным при МР-негативных случаях. Результаты компьютерной обработки ЭЭГ сопоставимы с результатами ОФЭКТ при парциальной эпилепсии вне зависимости от этиологии. Большую эффективность 3D-реконструкция на основе ЭЭГ продемонстрировала при височной локализации эпилептогенного очага [62]. В сравнении с МЭГ данная методика показала сопоставимые результаты, преимущество заключалось в том, что ЭЭГ можно использовать у детей, неспособных длительно сохранять неподвижное положение и у больных с редкими межприступными разрядами [63]. Методика компьютерной обработки позволяет объединить результаты различных методов исследования в одной картинке и иметь полное целостное представление об очаге для определения тактики ведения пациента.

Заключение / Conclusion

В прехирургической неинвазивной диагностике ФКД возможно использование множества методов, основными являются длительный видео-ЭЭГ-мониторинг и МРТ, однако в МР-негативных случаях возможно подключение дополнительных методик, таких как 18ФДГ-ПЭТ, ОФЭКТ, SISCOM, МЭГ, фМРТ, МР-спектроскопия, 3D-реконструкция на основе ЭЭГ. Важно понимать, что ни одна из этих методик не превосходит другие в распознавании и определении локализации ФКД, все они дополняют друг друга. Благодаря широкому внедрению этих методик в клиническую практику становится возможным выявление ранее неопределяемых ФКД и их успешное лечение.

Литература:

1. Taylor D. C., Falconer M. A., Bruton C. J., Corsellis J. A. Focal dysplasia of the cerebral cortex in epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1971; 34 (4): 369-87. <https://doi.org/10.1136/jnnp.34.4.369>.
2. Widdess-Walsh P., Diehl B., Najm I. Neuroimaging of focal cortical dysplasia. *J Neuroimaging*. 2006; 16 (3): 185-96. <https://doi.org/10.1111/j.1552-6569.2006.00025.x>.
3. Palmini A., Holthausen H. Focal malformations of cortical development: A most relevant etiology of epilepsy in children. 1st ed. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier B. V. 2013; Vol. 111: 549-565. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-52891-9.00058-0>.
4. Айвазян С. О. Фокальные корковые дисплазии: алгоритм предоперационного обследования. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2012; 4 (2): 6-12.
5. Суфианов А. А., Орлов А. С., Матвеев Е. И. Опыт применения хронической нейростимуляции блуждающего нерва в лечении фармакорезистентной эпилепсии. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2012; 4 (3): 48-49.
6. Mühlebner A., Coras R., Kobow K., Feucht M., Czech T., Stefan H. et al. Neuropathologic measurements in focal cortical dysplasias: Validation of the ILAE 2011 classification system and diagnostic implications for

- MRI. Acta Neuropathol. 2012; 123 (2): 259-72. <https://doi.org/10.1007/s00401-011-0920-1>.
7. Blümcke I., Thom M., Aronica E., Armstrong D. D., Vinters H. V., Palmini A. et al. The clinicopathologic spectrum of focal cortical dysplasias: A consensus classification proposed by an ad hoc Task Force of the ILAE Diagnostic Methods Commission. Epilepsia. 2011; 52 (1): 158-74. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2010.02777.x>.
8. Хачатрян В. Неспецифические методики хирургического лечения эпилепсии. М. 2016.
9. Авакян Г. Н., Авакян Г. Г. Трансформации эпилептической системы. состояние вопроса и возможности решения проблемы. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017; 9 (2): 6-19.
10. Holthausen H., Pieper T., Winkler P., Bluemcke I., Kuderatsch M. Electro-clinical-pathological correlations in focal cortical dysplasia (FCD) at young ages. Child's Nerv Syst. 2014; 30 (12): 2015-26. <https://doi.org/10.1007/s00381-014-2549-6>.
11. Gambardella A., Palmini A., Andermann F., Dubeau F., da Costa J. C., Quesney L. F. et al. Usefulness of focal rhythmic discharges on scalp EEG of patients with focal cortical dysplasia and intractable epilepsy. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1996; 98: 243-9. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(95\)00266-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(95)00266-9).
12. Guerrini R., Duchowny M., Jayakar P., Krsek P., Kahane P., Tassi L. et al. Diagnostic methods and treatment options for focal cortical dysplasia. Epilepsia. 2015; 56: 1669-1686. <https://doi.org/10.1111/epi.13200>.
13. Tassi L., Garbelli R., Colombo N., Brammerio M., Lo Russo G., Mai R. et al. Electroclinical, MRI and surgical outcomes in 100 epileptic patients with type II FCD. Epileptic Disord. 2012; 14 (3): 257-66. <https://doi.org/10.1093/brain/awh357>.
14. Menezes I., Ellenrieder N. Von, Zazubovits N., Gotman J., Frauscher B. Sleep influences the intracerebral EEG pattern of focal cortical dysplasia. Epilepsy research. 2015; 113: 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2015.03.014>.
15. Perucca P. Intracranial electroencephalographic seizure-onset patterns: effect of underlying pathology. Brain. 2017; 137: 183-196. <https://doi.org/10.1093/brain/awt299>.
16. Перепелов В. А., Меркулова М. С., Перепелова Е. М. Возможности выявления эпилептогенных нарушений при проведении высокопольной МР-томографии. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017; 9 (1): 62-68. <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.062-068>.
17. Wellmer J., Quesada C. M., Rothe L., Elger C. E., Bien C. G., Urbach H. Proposal for a magnetic resonance imaging protocol for the detection of epileptogenic lesions at early outpatient stages. Epilepsia. 2013; 54 (11): 1977-87. <https://doi.org/10.1111/epi.12375>.
18. Асатрян Э. А., Абрамов К. Б., Маматханов М. Р., Лебедев К. Э., Ефимцев А. Ю., Забродская Ю. М., Себелев К. И., Рыжкова Д. В., Труфанов Г. Е., Хачатрян В. А. Диагностика и результаты хирургического лечения эпилепсии у детей со структурными изменениями головного мозга. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017; 9 (1): 40-50. <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.040-050>.
19. Von Oertzen J., Urbach H., Jungbluth S., Kurthen M., Reuber M., Fernández G. et al. Standard magnetic resonance imaging is inadequate for patients with refractory focal epilepsy. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2002; 73 (6): 643-7. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.6.643>.
20. 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. <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.4.041-049>.
21. Kim D. W., Kim S., Park S.-H., Chung C.-K., Lee S. K. Comparison of MRI features and surgical outcome among the subtypes of focal cortical dysplasia. Seizure. 2012; 21 (10): 789-94. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2012.09.006>.
22. Colombo N., Tassi L., Deleo F., Russo G. Lo, Spreafico R. Focal cortical dysplasia type IIa and IIb: MRI aspects in 118 cases proven by histopathology. Neuroradiology. 2012; 1065-77. <https://doi.org/10.1007/s00234-012-1049-1>.
23. Colliot O., Bernasconi N., Khalili N., Antel S. B., Naessens V., Bernasconi A. Individual voxel-based analysis of gray matter in focal cortical dysplasia. Neuroimage. 2006; 29 (1): 162-71. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.021>.
24. Kim D. W., Lee S. K., Chu K., Park K. I., Lee S. Y., Lee C. H. et al. Predictors of surgical outcome and pathologic considerations in focal cortical dysplasia. Neurology. 2009; 72 (3): 211-6. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000327825.48731.c3>.
25. Lerner J. T., Salamon N., Hauptman J. S., Velasco T. R., Hemb M., Wu J. Y. et al. Assessment and surgical outcomes for mild type I and severe type II cortical dysplasia: A critical review and the UCLA experience. Epilepsia. 2009; 50 (6): 1310-35. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2008.01998.x>.
26. Lee S. K., Kim D.-W. Focal Cortical Dysplasia and Epilepsy Surgery. J Epilepsy Res. 2013; 3 (2): 43-7. <https://doi.org/10.14581/jer.13009>.
27. Chassoux F., Landré E., Mellerio C., Turak B., Mann M. W., Dumas-Duport C. et al. Type II focal cortical dysplasia: Electroclinical phenotype and surgical outcome related to imaging. Epilepsia. 2012; 53 (2): 349-58. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2011.03363.x>.
28. Chassoux F., Rodrigo S., Semah F., Beuvon F., Landre E., Devaux B. et al. FDG-PET improves surgical outcome in negative MRI Taylor-type focal cortical dysplasias. Neurology. 2010; 75 (24): 2168-75. <https://doi.org/10.1212/wnl.0b013e31820203a9>.
29. Halac G., Delil S., Zafer D., Isler C., Uzan M., Comunoglu N. et al. Compatibility of MRI and FDG-PET findings with histopathological results in patients with focal cortical dysplasia. Seizure. 2017; 45: 80-6. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.11.024>.
30. Асатрян Э. А., Абрамов К. Б., Маматханов М. Р., Лебедев К. Э., Ефимцев А. Ю., Забродская Ю. М., Себелев К. И., Рыжкова Д. В., Труфанов Г. Е., Хачатрян В. А. Диагностика и результаты хирургического лечения эпилепсии у детей со структурными изменениями головного мозга. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017; 9 (1): 40-50. <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.040-050>.
31. Salamon N., Kung J., Shaw S. J., Koo J., Koh S., Wu J. Y. et al. FDG-PET/MRI coregistration improves detection of cortical dysplasia in patients with epilepsy. Neurology. 2008; 71 (20): 1594-601. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000334752.41807.2f>.
32. Iwasaki M., Jin K., Nakasato N., Tominaga T. Non-invasive Evaluation for Epilepsy Surgery. Neurol Med Chir (Tokyo). 2016; 56 (10): 632-40. <https://doi.org/10.2176/nmc.ra.2016-0186>.
33. Panigrahi M. Presurgical evaluation of epilepsy. J Pediatr Neurosci. 2008; 3: 74-81. <https://doi.org/10.4103/1817-1745.40593>.
34. Krsek P., Kudr M., Jahodova A., Komarek V., Maton B., Malone S. et al. Localizing value of ictal SPECT is comparable to MRI and EEG in children with focal cortical dysplasia. Epilepsia. 2013; 54 (2): 351-8. <https://doi.org/10.1111/epi.12059>.
35. Krsek P., Marusic P., Tomasek M., Trnka J., Michalova K., Jaruskova M., et al. SISCOM and FDG-PET in patients with non-lesional extratemporal epilepsy: Correlation with intracranial EEG, histology, and seizure outcome. Epileptic Disord. 2013; 15 (1): 3-13. <https://doi.org/10.1684/epd.2013.0560>.
36. Matsuda H., Matsuda K., Nakamura F., Kameyama S., Masuda H., Otsuki T. et al. Contribution of subtraction ictal SPECT coregistered to MRI to epilepsy surgery: A multicenter study. Ann Nucl Med. 2009; 23 (3): 283-91. <https://doi.org/10.1007/s12149-009-0236-6>.
37. Singh S. Magnetoencephalography: Basic principles. Ann Indian Acad Neurol. 2014; 17 (5): 107. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.128676>.
38. Bagić A. Look back to leap forward: The emerging new role of magnetoencephalography (MEG) in nonlesional epilepsy. Clin Neurophysiol. 2016; 127 (1): 60-6. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.05.009>.
39. Itabashi H., Jin K., Iwasaki M., Okumura E., Kanno A., Kato K. et al. Electro- and magneto-encephalographic spike source localization of small focal cortical dysplasia in the dorsal peri-rolandic region. Clin Neurophysiol. 2014; 125 (12): 2358-63. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.02.028>.
40. Ueda Y., Egawa K., Ito T., Takeuchi F., Nakajima M., Otsuka K. et al. The presence of short and sharp MEG spikes implies focal cortical dysplasia. Epilepsy Res. 2015; 114: 141-6. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2015.04.020>.
41. Heers M., Hirschmann J., Jacobs J., Dümpelmann M., Butz M., von Lehe M. et al. Frequency domain beamforming of magnetoencephalographic beta band activity in epilepsy patients with focal cortical dysplasia. Epilepsy Res. 2014; 108 (7): 1195-203. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2014.05.003>.

42. Jeong W., Kim J. S., Chung C. K. Localization of MEG pathologic gamma oscillations in adult epilepsy patients with focal cortical dysplasia. *NeuroImage Clin.* 2013; 3: 507-14. <http://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.09.009>.
43. Wilenius J., Medvedovsky M., Gaily E., Metsähonkala L., Mäkelä J. P., Paetau A. et al. Interictal MEG reveals focal cortical dysplasias: Special focus on patients with no visible MRI lesions. *Epilepsy Res.* 2013; 105 (3): 337-48. <http://doi.org/10.1016/j.eplespyres.2013.02.023>.
44. Thornton R., Vulliemoz S., Rodionov R., Carmichael D. W., Chaudhary U. J., Diehl B. et al. Epileptic networks in focal cortical dysplasia revealed using electroencephalography-functional magnetic resonance imaging. *Ann Neurol.* 2011; 70 (5): 822-37. <https://doi.org/10.1002/ana.2253539>.
45. Kemp S., Prendergast G., Karapanagiotidis T., Baker G., Kelly T. P., Patankar T. et al. Concordance between the Wada test and neuroimaging lateralization: Influence of imaging modality (fMRI and MEG) and patient experience. *Epilepsy Behav.* 2018; 78: 155-60. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2017.09.027>.
46. An D., Fahoum F., Hall J., Olivier A., Gotman J., Dubeau F. Electroencephalography/functional magnetic resonance imaging responses help predict surgical outcome in focal epilepsy. *Epilepsia.* 2013; 54 (12): 2184-94. <https://doi.org/10.1111/epi.12434>.
47. Pittau F., Ferri L., Fahoum F., Dubeau F., Gotman J. Contributions of EEG-fMRI to Assessing the Epileptogenicity of Focal Cortical Dysplasia. *Front Comput Neurosci.* 2017; 11 (2). <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00008>.
48. Lehericy S., Duffau H. et al. Correspondence between functional magnetic resonance imaging somatotopy and individual brain anatomy of the central region: comparison with intraoperative stimulation in patients with brain tumors. *J Neurosurgery.* 2000; 92: 589-98. <https://doi.org/10.3171/jns.2000.92.4.0589>.
49. Binder J. R., Swanson S. J., Hammeke T. A., Morris G. L., Mueller W. M., Fischer M. et al. Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. *Neurology.* 1996; 46 (4): 978-84. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000397065.05305.5d>.
50. Yetkin F. Z., Swanson S., Fischer M., Akansel G., Morris G., Mueller W. et al. Functional MR of frontal lobe activation: Comparison with Wada language results. *Am J Neuroradiol.* 1998; 19 (6): 1095-8.
51. Ganesan K., Ursekar M. Clinical utility of BOLD fMRI in preoperative work-up of epilepsy. *Indian J Radiol Imaging.* 2014; 24 (1): 22. <https://doi.org/10.4103/0971-3026.130688>.
52. Marnet D., Devaux B., Chassoux F., Landré E., Mann M., Turak B. et al. Chirurgie des dysplasies corticales focales en région centrale. *Neurochirurgie.* 2008; 54 (3): 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2008.02.054>.
53. Najm I. M., Tassi L., Sarnat H. B., Holthausen H., Russo G. Lo. Epilepsies associated with focal cortical dysplasias (FCDs). *Acta Neuropathol.* 2014; 128 (1): 5-19. <https://doi.org/10.1007/s00401-014-1304-0>.
54. Marusic P., Najm I. M., Ying Z., Prayson R., Rona S., Nair D. et al. Focal cortical dysplasias in eloquent cortex: Functional characteristics and correlation with MRI and histopathologic changes. *Epilepsia.* 2002; 43 (1): 27-32. <https://doi.org/10.1046/j.1528-1157.2002.00801.x>.
55. Nikolova S., Bartha R., Parrent A. G., Steven D. A., Diosy D., Burneo J. G. Functional MRI of neuronal activation in epilepsy patients with malformations of cortical development. *Epilepsy Res.* 2015; 116: 1-7. <http://doi.org/10.1016/j.eplespyres.2015.06.012>.
56. Yuan W., Szafarski J. P., Schmithorst V. J., Schapiro M., Byars A. W., Strawsburg R. H. et al. fMRI Shows Atypical Language Lateralization in Pediatric Epilepsy Patients. *Epilepsia.* 2006; 47 (3): 593-600. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2006.00474.x>.
57. Dupont S., Duron E., Samson S., Denos M., Volle E., Delmaire C. et al. Functional MR imaging or Wada test: which is the better predictor of individual postoperative memory outcome? *Radiology.* 2010; 255 (1): 128-34. <https://doi.org/10.1148/radiol.09091079>.
58. Kuzniecky R., Hetherington H., Pan J., Hugg J., Palmer C., Gilliam F. et al. Proton spectroscopic imaging at 4.1 tesla in patients with malformations of cortical development and epilepsy. *Neurology.* 1997; 48 (4): 1018-24. <https://doi.org/10.1212/wnl.48.4.1018>.
59. Colon A. J., Hofman P., Ossenblok P. P. W., Jansen J. F. A., ter Beek L. C., Berting R. et al. MRS-lateralisation index in patients with epilepsy and focal cortical dysplasia or a MEG-focus using bilateral single voxels. *Epilepsy Res.* 2010; 89 (1): 148-53. <http://doi.org/10.1016/j.eplespyres.2009.11.007>.
60. Fellah S., Callot V., Viout P., Confort-Gouny S., Scavarda D., Dory-Lautrec P. et al. Epileptogenic brain lesions in children: The added-value of combined diffusion imaging and proton MR spectroscopy to the presurgical differential diagnosis. *Child's Nerv Syst.* 2012; 28 (2): 273-82. <https://doi.org/10.1007/s00381-011-1604-9>.
61. Tschampa H. J., Urbach H., Sprinkart A. M., Greschus S., Malter M. P. et al. Proton magnetic resonance spectroscopy in focal cortical dysplasia at 3 T. *Seizure.* 2015; 32: 23-9. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2015.08.008>.
62. Russo A., Jayakar P., Lallas M., Miller I., Hyslop A., Korman B. et al. The diagnostic utility of 3D electroencephalography source imaging in pediatric epilepsy surgery. *Epilepsia.* 2016; 57 (1): 24-31. <https://doi.org/10.1111/epi.13228>.
63. Park C. J., Seo J. H., Kim D., Abibullaev B., Kwon H., Lee Y. H. et al. EEG source imaging in partial epilepsy in comparison with presurgical evaluation and magnetoencephalography. *J. Clin. Neurol.* 2015; 11 (4): 319-330. <https://doi.org/10.3988/jcn.2015.11.4.319>.

References:

1. Taylor D. C., Falconer M. A., Bruton C. J., Corsellis J. A. Focal dysplasia of the cerebral cortex in epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1971; 34 (4): 369-87. <https://doi.org/10.1136/jnnp.34.4.369>.
2. Widdess-Walsh P., Diehl B., Najm I. Neuroimaging of focal cortical dysplasia. *J Neuroimaging.* 2006; 16 (3): 185-96. <https://doi.org/10.1111/j.1552-6569.2006.00025.x>.
3. Palmini A., Holthausen H. Focal malformations of cortical development: A most relevant etiology of epilepsy in children. 1st ed. *Handbook of Clinical Neurology.* Elsevier B. V. 2013; Vol. 111: 549-565. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-52891-9.00058-0>.
4. Ayvazyan S. O. Focal cortical dysplasia: algorithm of preoperative examination. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions.* 2012; 4 (2): 6-12 (in Russian).
5. Sufianov A. A., Orlov A. S., Matveev E. I. Experience of vagal nerve stimulation in treatment of pharmacoresistant epilepsy. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions.* 2012; 4 (3): 48-49 (in Russian).
6. Mühlebner A., Coras R., Kobow K., Feucht M., Czech T., Stefan H. et al. Neuropathologic measurements in focal cortical dysplasias: Validation of the ILAE 2011 classification system and diagnostic implications for MRI. *Acta Neuropathol.* 2012; 123 (2): 259-72. <https://doi.org/10.1007/s00401-011-0920-1>.
7. Blümcke I., Thom M., Aronica E., Armstrong D. D., Vinters H. V., Palmini A. et al. The clinicopathologic spectrum of focal cortical dysplasias: A consensus classification proposed by an ad hoc Task Force of the ILAE Diagnostic Methods Commission. *Epilepsia.* 2011; 52 (1): 158-74. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2010.02777.x>.
8. Khachatryan V. Non-specific techniques of surgical treatment of epilepsy. M. 2016 (In Russian).
9. Avakyan G. N., Avakyan G. G. Transformation of the epileptic system. current status of the problem and possible ways to solve it. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions.* 2017; 9 (2): 6-19. (In Russian) <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.2.006-019>
10. Holthausen H., Pieper T., Winkler P., Bluemcke I., Kudernatsch M. Electro-clinical-pathological correlations in focal cortical dysplasia (FCD) at young ages. *Child's Nerv Syst.* 2014; 30 (12): 2015-26. <https://doi.org/10.1007/s00381-014-2549-6>.
11. Gambardella A., Palmini A., Andermann F., Dubeau F., da Costa J. C., Quesney L. F. et al. Usefulness of focal rhythmic discharges on scalp EEG of patients with focal cortical dysplasia and intractable epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1996; 98: 243-9. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(95\)00266-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(95)00266-9).

12. Guerrini R., Duchowny M., Jayakar P., Krsek P., Kahane P., Tassi L. et al. Diagnostic methods and treatment options for focal cortical dysplasia. *Epilepsia*. 2015; 56: 1669-1686. <https://doi.org/10.1111/epi.13200>.
13. Tassi L., Garbelli R., Colombo N., Bramerio M., Lo Russo G., Mai R. et al. Electroclinical, MRI and surgical outcomes in 100 epileptic patients with type II FCD. *Epileptic Disord*. 2012; 14 (3): 257-66. <https://doi.org/10.1093/brain/awh357>.
14. Menezes L., Ellenrieder N. Von, Zazubovits N., Gotman J., Frauscher B. Sleep influences the intracerebral EEG pattern of focal cortical dysplasia. *Epilepsy research*. 2015; 113: 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2015.03.014>.
15. Perucca P. Intracranial electroencephalographic seizure-onset patterns: effect of underlying pathology. *Brain*. 2017; 137: 183-196. <https://doi.org/10.1093/brain/awt299>.
16. Perepelov V. A., Merkulova M. S., Perepelova E. M. Identification of epileptogenic abnormalities using a high-field MR-scanner. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions*. 2017; 9 (1): 62-68. (In Russian). <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.062-068>.
17. Wellmer J., Quesada C. M., Rothe L., Elger C. E., Bien C. G., Urbach H. Proposal for a magnetic resonance imaging protocol for the detection of epileptogenic lesions at early outpatient stages. *Epilepsia*. 2013; 54 (11): 1977-87. <https://doi.org/10.1111/epi.12375>.
18. Asatryan E. A., Abramov K. B., Mamatkhanov M. R., Lebedev K. E., Efimtsev A. Y., Zabrodskaya Y. M., Sebelev K. I., Ryzhkova D. V., Trufanov G. E., Khachatryan W. A. Diagnostics and long-term outcomes after surgical treatment of epilepsy in children with structural brain changes. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions*. 2017; 9 (1): 40-50. (In Russian). <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.040-050>.
19. Von Oertzen J., Urbach H., Jungbluth S., Kurthen M., Reuber M., Fernández G. et al. Standard magnetic resonance imaging is inadequate for patients with refractory focal epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2002; 73 (6): 643-7. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.6.643>.
20. 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. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions*. 2017; 9 (4): 41-49. <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.4.041-049>.
21. Kim D. W., Kim S., Park S.-H., Chung C.-K., Lee S. K. Comparison of MRI features and surgical outcome among the subtypes of focal cortical dysplasia. *Seizure*. 2012; 21 (10): 789-94. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2012.09.006>.
22. Colombo N., Tassi L., Deleo F., Russo G. Lo, Spreafico R. Focal cortical dysplasia type IIa and IIb: MRI aspects in 118 cases proven by histopathology. *Neuroradiology*. 2012; 1065-77. <https://doi.org/10.1007/s00234-012-1049-1>.
23. Colliot O., Bernasconi N., Khalili N., Antel S. B., Naessens V., Bernasconi A. Individual voxel-based analysis of gray matter in focal cortical dysplasia. *Neuroimage*. 2006; 29 (1): 162-71. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.021>.
24. Kim D. W., Lee S. K., Chu K., Park K. I., Lee S. Y., Lee C. H. et al. Predictors of surgical outcome and pathologic considerations in focal cortical dysplasia. *Neurology*. 2009; 72 (3): 211-6. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000327825.48731.c3>.
25. Lerner J. T., Salamon N., Hauptman J. S., Velasco T. R., Hemb M., Wu J. Y. et al. Assessment and surgical outcomes for mild type I and severe type II cortical dysplasia: A critical review and the UCLA experience. *Epilepsia*. 2009; 50 (6): 1310-35. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2008.01998.x>.
26. Lee S. K., Kim D.-W. Focal Cortical Dysplasia and Epilepsy Surgery. *J Epilepsy Res*. 2013; 3 (2): 43-7. <https://doi.org/10.14581/jer.13009>.
27. Chassoux F., Landré E., Mellerio C., Turak B., Mann M. W., Daumas-Duport C. et al. Type II focal cortical dysplasia: Electroclinical phenotype and surgical outcome related to imaging. *Epilepsia*. 2012; 53 (2): 349-58. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2011.03363.x>.
28. Chassoux F., Rodrigo S., Semah F., Beuvon F., Landre E., Devaux B. et al. FDG-PET improves surgical outcome in negative MRI Taylor-type focal cortical dysplasias. *Neurology*. 2010; 75 (24): 2168-75. <https://doi.org/10.1212/wnl.0b013e31820203a9>.
29. Halac G., Delil S., Zafer D., Isler C., Uzan M., Comunoglu N. et al. Compatibility of MRI and FDG-PET findings with histopathological results in patients with focal cortical dysplasia. *Seizure*. 2017; 45: 80-6. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.11.024>.
30. Asatryan E. A., Abramov K. B., Mamatkhanov M. R., Lebedev K. E., Efimtsev A. Y., Zabrodskaya Y. M., Sebelev K. I., Ryzhkova D. V., Trufanov G. E., Khachatryan W. A. Diagnostics and long-term outcomes after surgical treatment of epilepsy in children with structural brain changes. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya / Epilepsy and paroxysmal conditions*. 2017; 9 (1): 40-50. (In Russian). <https://doi.org/10.17749/2077-8333.2017.9.1.040-050>.
31. Salamon N., Kung J., Shaw S. J., Koo J., Koh S., Wu J. Y. et al. FDG-PET/MRI coregistration improves detection of cortical dysplasia in patients with epilepsy. *Neurology*. 2008; 71 (20): 1594-601. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000334752.41807.2f>.
32. Iwasaki M., Jin K., Nakasato N., Tominaga T. Non-invasive Evaluation for Epilepsy Surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2016; 56 (10): 632-40. <https://doi.org/10.2176/nmc.ra.2016-0186>.
33. Panigrahi M. Presurgical evaluation of epilepsy. *J Pediatr Neurosci*. 2008; 3: 74-81. <https://doi.org/10.4103/1817-1745.40593>.
34. Krsek P., Kudr M., Jahodova A., Komarek V., Maton B., Malone S. et al. Localizing value of ictal SPECT is comparable to MRI and EEG in children with focal cortical dysplasia. *Epilepsia*. 2013; 54 (2): 351-8. <https://doi.org/10.1111/epi.12059>.
35. Krsek P., Marusic P., Tomasek M., Trnka J., Michalova K., Jaruskova M., et al. SISCOM and FDG-PET in patients with non-lesional extratemporal epilepsy: Correlation with intracranial EEG, histology, and seizure outcome. *Epileptic Disord*. 2013; 15 (1): 3-13. <https://doi.org/10.1684/epd.2013.0560>.
36. Matsuda H., Matsuda K., Nakamura F., Kameyama S., Masuda H., Otsuki T. et al. Contribution of subtraction ictal SPECT coregistered to MRI to epilepsy surgery: A multicenter study. *Ann Nucl Med*. 2009; 23 (3): 283-91. <https://doi.org/10.1007/s12149-009-0236-6>.
37. Singh S. Magnetoencephalography: Basic principles. *Ann Indian Acad Neurol*. 2014; 17 (5): 107. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.128676>.
38. Bagić A. Look back to leap forward: The emerging new role of magnetoencephalography (MEG) in nonlesional epilepsy. *Clin Neurophysiol*. 2016; 127 (1): 60-6. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.05.009>.
39. Itabashi H., Jin K., Iwasaki M., Okumura E., Kanno A., Kato K. et al. Electro- and magneto-encephalographic spike source localization of small focal cortical dysplasia in the dorsal peri-rolandic region. *Clin Neurophysiol*. 2014; 125 (12): 2358-63. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.02.028>.
40. Ueda Y., Egawa K., Ito T., Takeuchi F., Nakajima M., Otsuka K. et al. The presence of short and sharp MEG spikes implies focal cortical dysplasia. *Epilepsy Res*. 2015; 114: 141-6. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2015.04.020>.
41. Heers M., Hirschmann J., Jacobs J., Dümpelmann M., Butz M., von Lehe M. et al. Frequency domain beamforming of magnetoencephalographic beta band activity in epilepsy patients with focal cortical dysplasia. *Epilepsy Res*. 2014; 108 (7): 1195-203. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2014.05.003>.
42. Jeong W., Kim J. S., Chung C. K. Localization of MEG pathologic gamma oscillations in adult epilepsy patients with focal cortical dysplasia. *NeuroImage Clin*. 2013; 3: 507-14. <http://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.09.009>.
43. Wilenius J., Medvedovsky M., Gaily E., Metsähonkala L., Mäkelä J. P., Paetau A. et al. Interictal MEG reveals focal cortical dysplasias: Special focus on patients with no visible MRI lesions. *Epilepsy Res*. 2013; 105 (3): 337-48. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2013.02.023>.
44. Thornton R., Vulliamoz S., Rodionov R., Carmichael D. W., Chaudhary U. J., Diehl B. et al. Epileptic networks in focal cortical dysplasia revealed using electroencephalography-functional magnetic resonance imaging. *Ann Neurol*. 2011; 70 (5): 822-37. <https://doi.org/10.1002/ana.2253539>.
45. Kemp S., Prendergast G., Karapanagiotidis T., Baker G., Kelly T. P., Patankar T. et al. Concordance between the Wada test and neuroimaging lateralization: Influence of imaging modality (fMRI and MEG) and patient experience. *Epilepsy Behav*. 2018; 78: 155-60. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2017.09.027>.
46. An D., Fahoum F., Hall J., Olivier A., Gotman J., Dubeau F. Electroencephalography/functional magnetic resonance imaging responses help predict surgical outcome in focal epilepsy. *Epilepsia*. 2013; 54 (12): 2184-94. <https://doi.org/10.1111/epi.12434>.

47. Pittau F, Ferri L, Fahoum F, Dubeau F, Gotman J. Contributions of EEG-fMRI to Assessing the Epileptogenicity of Focal Cortical Dysplasia. *Front Comput Neurosci*. 2017; 11 (2). <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00008>.
48. Lehericy S., Duffau H. et al. Correspondence between functional magnetic resonance imaging somatotopy and individual brain anatomy of the central region: comparison with intraoperative stimulation in patients with brain tumors. *J Neurosurgery*. 2000; 92: 589-98. <https://doi.org/10.3171/jns.2000.92.4.0589>.
49. Binder J. R., Swanson S. J., Hammeke T. A., Morris G. L., Mueller W. M., Fischer M. et al. Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. *Neurology*. 1996; 46 (4): 978-84. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000397065.05305.5d>.
50. Yetkin F. Z., Swanson S., Fischer M., Akansel G., Morris G., Mueller W. et al. Functional MR of frontal lobe activation: Comparison with Wada language results. *Am J Neuroradiol*. 1998; 19 (6): 1095-8.
51. Ganesan K., Ursekar M. Clinical utility of BOLD fMRI in preoperative work-up of epilepsy. *Indian J Radiol Imaging*. 2014; 24 (1): 22. <https://doi.org/10.4103/0971-3026.130688>.
52. Marnet D., Devaux B., Chassoux F., Landré E., Mann M., Turak B. et al. Chirurgie des dysplasies corticales focales en région centrale. *Neurochirurgie*. 2008; 54 (3): 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2008.02.054>.
53. Najm I. M., Tassi L., Sarnat H. B., Holthausen H., Russo G. Lo. Epilepsies associated with focal cortical dysplasias (FCDs). *Acta Neuropathol*. 2014; 128 (1): 5-19. <https://doi.org/10.1007/s00401-014-1304-0>.
54. Marusic P., Najm I. M., Ying Z., Prayson R., Rona S., Nair D. et al. Focal cortical dysplasias in eloquent cortex: Functional characteristics and correlation with MRI and histopathologic changes. *Epilepsia*. 2002; 43 (1): 27-32. <https://doi.org/10.1046/j.1528-1157.2002.00801.x>.
55. Nikolova S., Bartha R., Parrent A. G., Steven D. A., Diosy D., Burneo J. G. Functional MRI of neuronal activation in epilepsy patients with malformations of cortical development. *Epilepsy Res*. 2015; 116: 1-7. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2015.06.012>.
56. Yuan W., Szaflarski J. P., Schmithorst V. J., Schapiro M., Byars A. W., Strawsburg R. H. et al. f MRI Shows Atypical Language Lateralization in Pediatric Epilepsy Patients. *Epilepsia*. 2006; 47 (3): 593-600. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2006.00474.x>.
57. Dupont S., Duron E., Samson S., Denos M., Volle E., Delmaire C. et al. Functional MR imaging or Wada test: which is the better predictor of individual postoperative memory outcome? *Radiology*. 2010; 255 (1): 128-34. <https://doi.org/10.1148/radiol.09091079>.
58. Kuzniecky R., Hetherington H., Pan J., Hugg J., Palmer C., Gilliam F. et al. Proton spectroscopic imaging at 4.1 tesla in patients with malformations of cortical development and epilepsy. *Neurology*. 1997; 48 (4): 1018-24. <https://doi.org/10.1212/wnl.48.4.1018>.
59. Colon A. J., Hofman P., Ossenblok P. P. W., Jansen J. F. A., ter Beek L. C., Berting R. et al. MRS-lateralisation index in patients with epilepsy and focal cortical dysplasia or a MEG-focus using bilateral single voxels. *Epilepsy Res*. 2010; 89 (1): 148-53. <http://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2009.11.007>.
60. Fellah S., Callot V., Viout P., Confort-Gouny S., Scavarda D., Dory-Lautrec P. et al. Epileptogenic brain lesions in children: The added-value of combined diffusion imaging and proton MR spectroscopy to the presurgical differential diagnosis. *Child's Nerv Syst*. 2012; 28 (2): 273-82. <https://doi.org/10.1007/s00381-011-1604-9>.
61. Tschampa H. J., Urbach H., Sprinkart A. M., Greschus S., Malter M. P. et al. Proton magnetic resonance spectroscopy in focal cortical dysplasia at 3 T. *Seizure*. 2015; 32: 23-9. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2015.08.008>.
62. Russo A., Jayakar P., Lallas M., Miller I., Hyslop A., Korman B. et al. The diagnostic utility of 3D electroencephalography source imaging in pediatric epilepsy surgery. *Epilepsia*. 2016; 57 (1): 24-31. <https://doi.org/10.1111/epi.13228>.
63. Park C. J., Seo J. H., Kim D., Abibullaev B., Kwon H., Lee Y. H. et al. EEG source imaging in partial epilepsy in comparison with presurgical evaluation and magnetoencephalography. *J. Clin. Neurol*. 2015; 11 (4): 319-330. <https://doi.org/10.3988/jcn.2015.11.4.319>.

Сведения об авторе:

Мирхайдаров Салават Валентинович – аспирант кафедры нейрохирургии первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); врач-нейрохирург отделения функциональной нейрохирургии. E-mail: salavatmirkhaydarov@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7873-3472>.

About the authors:

Salavat V. Mirkhaydarov – MD, PhD Student, Department of Neurosurgery, Sechenov First Moscow Medical University; Neurosurgeon, Department of Functional Neurosurgery, Federal Center of Neurosurgery. E-mail: salavatmirkhaydarov@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7873-3472>.