

DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-22-32>

Влияние параметров радиочастотной термокоагуляции на размер очага деструкции во время стерео-ЭЭГ

Е.А. Гордеева¹, А.В. Димерцев¹, И.П. Саламов², Н.О. Ивин¹, А.А. Зуев¹

¹ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 105203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70;

²ГБУ РД «Республиканская клиническая больница им. А.В. Вишневского»; Россия, Республика Дагестан, 367026 Махачкала, ул. Ляхова, 47

Контакты: Елизавета Александровна Гордеева lis.gordeyeva@gmail.com

Введение. Радиочастотная термокоагуляция эпилептогенной зоны через установленные стерео-электроды может быть альтернативой резективной операции у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией.

Цель исследования – определить параметры радиочастотной термокоагуляции, влияющие на объем очага деструкции.

Материалы и методы. Проведено исследование на материале белков куриных яиц. С помощью глубинных электродов с использованием различных параметров вызваны различные по объему очаги деструкции. Отобраны 2 пациента, прошедшие процедуру стерео-электроэнцефалографии в НМХЦ им. Н.И. Пирогова, данные которых (размер очага деструкции и его влияние на течение заболевания) представлены в качестве примеров использования метода в клинической практике.

Результаты. Наибольший очаг деструкции получен в результате радиочастотной термокоагуляции на мощности 3 Вт длительностью 180 с, проведенной между соседними контактами 1 электрода. Радиочастотная термокоагуляция по этой технологии в клинической практике в одном случае позволила разрушить эпилептогенную зону частично, во втором – полностью.

Радиочастотная термокоагуляция позволяет добиться свободы от приступов или снижения их частоты и интенсивности у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией. Обнаруженные нами связи параметров радиочастотной термокоагуляции с параметрами формируемых очагов сходны с представленными в других работах.

Заключение. Наибольшие очаги деструкции формируются в результате радиочастотной термокоагуляции с меньшей мощностью и более длительной экспозицией. На эффективность радиочастотной термокоагуляции в качестве терапии эпилепсии влияет соотношение размера полученного очага деструкции и размера эпилептогенной зоны.

Ключевые слова: стерео-электроэнцефалография, радиочастотная термодеструкция, очаг деструкции, фокальная фармакорезистентная эпилепсия, прехирургическая диагностика

Для цитирования: Гордеева Е.А., Димерцев А.В., Саламов И.П. и др. Влияние параметров радиочастотной термокоагуляции на размер очага деструкции во время стерео-ЭЭГ. Нейрохирургия 2025;27(1):22–32.

DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-22-32>

Radiofrequency thermocoagulation parameters impact on lesion size during stereo-EEG

E.A. Gordeyeva¹, A.V. Dimertsev¹, I.P. Salamov², N.O. Ivin¹, A.A. Zuev¹

¹N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Ministry of Health of Russia; 70 Nizhnyaya Pervomayskaya St., Moscow 105203, Russia;

²A.V. Vishnevsky Republican State Hospital; 47 Lyakhova St., Republic of Dagestan, Mahachkala, 367026, Russia

Contacts: Elizaveta Alexandrovna Gordeyeva lis.gordeyeva@gmail.com

Background. Radiofrequency thermocoagulation of the epileptogenic zone via depth stereo electrodes may be an alternative to resective surgery in patients with drug-resistant epilepsy.

Aim. To determine the parameters of radiofrequency thermocoagulation that affect the lesion volume.

Materials and methods. A study was conducted using chicken egg whites. With the help of depth electrodes, lesions of different volumes were produced at different parameters. Data of two patients who underwent stereoelectroencephalography

at the N.I. Pirogov National Medical Clinical Center (the size of the focus of destruction and its effect on the course of the disease) are presented as examples of the use of the method in clinical practice.

Results. The largest lesion was created at a power of 3 W for 180 seconds between adjacent contacts of one electrode. Using this technology in clinical practice allowed partial destruction of the epileptogenic zone in one case and complete destruction in the second.

Radiofrequency thermocoagulation allows to achieve seizure freedom or a reduction in their frequency and intensity in patients with drug-resistant epilepsy. The relationships we discovered between the parameters of radiofrequency thermocoagulation and the parameters of the formed lesions are similar to those presented in other works.

Conclusion. The largest lesions are formed as a result of radiofrequency thermocoagulation with lower power and longer exposure. The effectiveness of radiofrequency thermocoagulation as a treatment for epilepsy is influenced by the ratio of the lesion size and the size of the epileptogenic zone.

Keywords: stereoelectroencephalography, radiofrequency thermodestruction, lesion, focal drug-resistant epilepsy, presurgical diagnostics

For citation: Gordeyeva E.A., Dimertsev A.V., Salamov I.P. et al. Radiofrequency thermocoagulation parameters impact on lesion size during stereo-EEG. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2025;27(1):22–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-22-32>

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что около 30 % пациентов с эпилепсией страдают фармакорезистентной формой заболевания [1]. Для таких пациентов оптимальной тактикой лечения может быть хирургическое лечение эпилепсии [2]. Чтобы выполнить операцию эффективно, необходимо провести тщательное прехирургическое обследование [3].

Обязательными видами обследования в рамках прехирургической диагностики пациентов с фокальной фармакорезистентной эпилепсией являются многосуточный видео-электроэнцефалографический (ЭЭГ) мониторинг и магнитно-резонансная томография (МРТ) по эпилептологическому протоколу [4]. При использовании данных методов возможно локализовать epileptogenic zone примерно у 60 % пациентов [5]. Тем пациентам, у которых после проведения этих исследований локализовать epileptogenic zone не удалось, показано проведение обследования с использованием дополнительных неинвазивных методов (позитронно-эмиссионная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, магнитоэнцефалография) [6, 7]. В случае, когда данных методов неинвазивной диагностики оказывается недостаточно для определения расположения epileptogenic zone, пациенту показано проведение инвазивного видео-ЭЭГ-мониторинга [8].

Одним из способов проведения инвазивного видео-ЭЭГ-мониторинга является исследование с использованием глубоких стерео-электродов (стерео-ЭЭГ). Стерео-ЭЭГ как метод дообследования в рамках прехирургической диагностики у пациентов с фокальной фармакорезистентной эпилепсией обладает доказанной эффективностью и безопасностью [9, 10]. Во время проведения стерео-ЭЭГ возможно выполнить радиочастотную термокоагуляцию (РТ) выявленной зоны начала приступа через установленные глубокие электроды. Эту процедуру пациенты хорошо переносят [11]. Известно, что у некоторых пациентов применение этого метода позволяет сни-

зить частоту приступов или вовсе избавить пациента от них [12]. Таким образом, РТ в части случаев может выступать альтернативой резективной операции. По данным зарубежных авторов, эффективность РТ зависит от соотношения размера очага деструкции (ОД), полученного при РТ, с размером epileptogenic zone [13, 14].

В большинстве работ сообщается о частичной эффективности РТ в плане избавления от приступов по сравнению с резективным хирургическим лечением [15, 16]. Авторы связывают это со сравнительно малым объемом ОД, возникающего при проведении РТ. Однако использование различных параметров РТ позволяет добиться формирования разных по размеру ОД [17]. В свою очередь, размер вызванного ОД напрямую влияет на то, насколько большая часть epileptogenic zone будет разрушена в результате РТ.

На данный момент отсутствует общепринятое представление о параметрах РТ, необходимых для формирования ОД определенного размера. Разными научными группами ведется работа по определению этих параметров. В частности, проводятся экспериментальные исследования с использованием гомогенизированного белка куриного яйца в качестве субстрата, показавшие зависимость размера ОД от параметров РТ [13, 18]. Модель применения белка куриного яйца для подобных исследований подробно описана в ряде работ [12, 19, 20]. В нашей работе будут представлены данные о размерах ОД, которые можно вызвать при использовании различных параметров РТ.

Цель исследования — определить параметры радиочастотной термокоагуляции, влияющие на объем ОД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения соотношения параметров РТ и получаемых ОД мы провели эксперимент *in vitro*, а затем проанализировали 2 случая из клинической практики, в которых пациентам была выполнена РТ во время стерео-ЭЭГ.

Оборудование

Для выполнения всех процедур РТ использовали радиочастотный генератор Cosman G4 (Cosman Medical Inc., США), глубинные полугибкие стерео-электроды из платиноиридиевого сплава (длина контакта 2,4 мм, диаметр — 1,1 мм, расстояние между контактами — 2,59 мм) (Ad-Tech Medical, США) и крепящиеся к ним коннекторы CABRIO (Ad-Tech Medical, США).

Исследование *in vitro*

Исследование проводили с использованием натуральных гомогенизированных белков куриных яиц температурой 25 °С в качестве среды для коагуляции. Белки отделяли от желтков и помещали в прозрачную емкость при комнатной температуре. В емкость вводили параллельно 2 электрода таким образом, чтобы их контакты находились точно друг напротив друга. Коагуляцию проводили между рядом расположенными контактами 1 электрода, между отдаленными контактами 1 электрода и между соседними контактами рядом расположенных электродов на расстоянии 5 мм. ОД формировали на мощности 3, 5, 7 Вт непрерывно на протяжении от 90 до 180 с. Мощность параметров коагуляции контролировали мануально, достигая желаемых значений в течение 15 с. Длительность экспозиции и параметры мощности РТ обоснованы протоколами, предложенными в более ранних исследованиях [12, 20]. При колебаниях мощности на фоне изменений сопротивления параметры также мануально корректировали. РТ считали завершенной, когда наблюдался резкий подъем импеданса и спад напряжения.

Фотофиксацию результатов РТ проводили с использованием фотоаппарата Canon EOS 60D (Canon, Япония). Анализ фотографий выполняли в программе Adobe Photoshop CC (Adobe Inc., США), измерения получаемых очагов коагуляции проводили с помощью инструмента «линейка» после стандартизации кадров.

Клиническая оценка

Из базы данных пациентов, прошедших процедуру стерео-ЭЭГ, отобраны 2 случая, в которых пациентам выполнялась РТ между контактами, расположенными на 1 электроде. В 1-м случае у пациента была выявлена височная форма эпилепсии, во 2-м случае эпилептогенная зона располагалась экстратемпорально. Расположение глубинных электродов, в том числе нахождение их в функционально значимой зоне, определяли по данным МРТ до и после установки электродов. Дополнительно функциональную значимость зон, потенциально подлежащих РТ, проверяли с помощью прямой стимуляции этих зон через установленные электроды. РТ проводили по той же технологии, что и в исследовании *in vitro*. В обоих случаях были использованы следующие параметры РТ: мощность 3 Вт, длительность воздействия 180 с.

Размер ОД, полученного в результате РТ, оценивали по данным контрольной МРТ, проведенной в день РТ или на следующий день после процедуры. ОД, полученный с помощью РТ, дифференцировали от перифокального отека с помощью Т2-взвешенных изображений. Пред- и послеоперационные особенности течения заболевания у пациента были качественно оценены врачами-эпилептологами.

Проведение этой процедуры было одобрено локальным этическим комитетом НМХЦ им. Н.И. Пирогова (протокол заседания № 17 от 18.11.2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование *in vitro*

Сопротивление внутри яичного белка до начала РТ составляло $254,39 \pm 8,2$ Ом и не отличалось в зависимости от положения электродов относительно друг друга в пространстве. Значение сопротивления изменялось в процессе коагуляции и достигало 1,1 кОм. Во время передачи тока размер участка коагуляции видимо увеличивался до момента, когда происходило резкое повышение сопротивления. Одновременно с этим регистрировались падение тока, слышимый треск, и формировался очаг РТ.

При выполнении РТ между отдаленными контактами 1 электрода размер очага термодеструкции увеличивался линейно при повышении мощности стимуляции ($p < 0,001$) (рис. 1).

Размер ОД, сформированного в результате РТ, также статистически значимо увеличивался при пролонгировании экспозиции ($p < 0,001$). Таким образом, при выполнении РТ мощностью 7 Вт продолжительностью 180 с размеры ОД были максимальными ($8 \pm 2,5$ мм), а минимальными — при 3 Вт с экспозицией 90 с ($4 \pm 1,2$ мм).

При выполнении РТ между ближайшими контактами 1 электрода наибольшие размеры ОД получены при коагуляции с мощностью 3 Вт и экспозицией 180 с (рис. 2). Результаты варьировали и составили $13 \pm 3,2$ мм $\times$ $8 \pm 0,4$ мм. Статистически значимо меньшие размеры ОД были получены при использовании мощности 5 Вт с экспозицией 180 с ($p < 0,001$). Результаты составили $10 \pm 3,7$ мм $\times$ $6 \pm 1,4$ мм. Размеры ОД при экспозиции в течение 90 с не имели статистически значимых различий между различными параметрами мощности, однако были значимо меньше при соответствующих параметрах мощности в сравнении с экспозицией 180 с ($p < 0,001$) (см. рис. 2).

При выполнении РТ между ближайшими контактами параллельно расположенных электродов (межконтактное расстояние 5 мм) наибольшие размеры ОД получены при коагуляции с мощностью 3 Вт и экспозицией 180 с (рис. 3). Результаты варьировали и составили $14 \pm 2,4$ мм. Статистически значимо меньшие размеры ОД были получены при использовании мощности 5 и 7 Вт с экспозицией 180 с ($p < 0,001$). Результаты

при мощности 5 Вт составили $10 \pm 2,2$ мм, а при мощности 7 Вт — $12 \pm 3,1$ мм. Размеры ОД при экспозиции в течение 90 с имели результаты, идентичные коагуляции отдаленных контактов 1 электрода.

В табл. 1 представлены размеры участков коагуляции, полученных при различных параметрах.

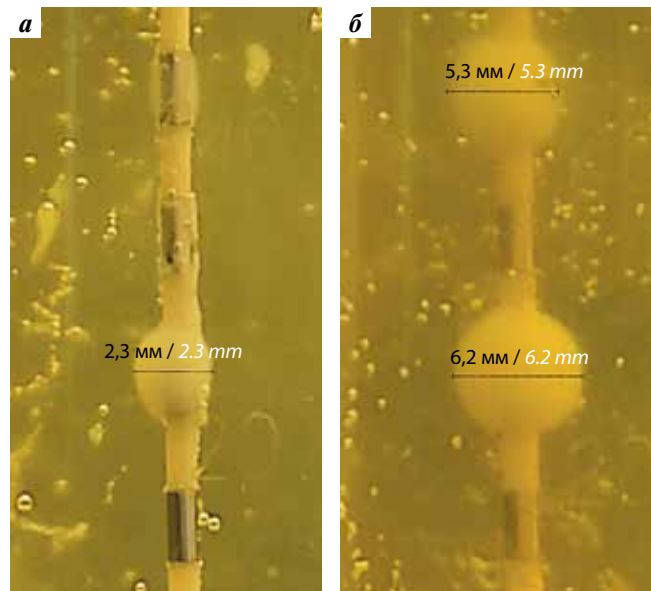


Рис. 1. Радиочастотная термокоагуляция между отдаленными контактами одного электрода: а — мощность 3 Вт, продолжительность деструкции 90 с. Диаметр наибольшего очага коагуляции составляет 3,1 мм, наименьшего — 2,3 мм; б — мощность 7 Вт, продолжительность деструкции 180 с. Диаметр наибольшего очага коагуляции составляет 6,2 мм, наименьшего — 5,1 мм

Fig. 1. Radiofrequency thermocoagulation between remote contacts of one electrode: а — 3 W power, 90 seconds exposition time. Larger lesion size — 3.1 mm, smaller lesion size — 2.3 mm; б — 7 W power, 180 seconds exposition time. Larger lesion size — 6.2 mm, smaller lesion size — 5.1 mm

Клиническая оценка

Вид электродов после проведения РТ представлен на рис. 4.

Клинический пример 1. Пациентка, 24 лет, с фармакорезистентным течением эпилепсии. Семимнологически приступы носили фокальный гипомоторный характер: ограничение произвольной деятельности, утрата осознанности, ороалиментарные автоматизмы, дистоническая установка правой верхней конечности и автоматизированные движения в левой верхней конечности. Частота эпилептических приступов при приеме антиэпилептической терапии составляла до 20 случаев в месяц. При видео-ЭЭГ-мониторинге зарегистрировано начало иктального паттерна в левой лобно-височной области (F7-T3-T5). По результатам МРТ головного мозга достоверных потенциально эпилептогенных очагов не выявлено. По результатам позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, зарегистрирована область гипометаболизма глюкозы в левом височном регионе.

По данным стерео-ЭЭГ зарегистрировано 6 стереотипных спонтанных фокальных приступов. Начало иктального паттерна в виде полипик-волновой активности с переходом на высокочастотную высокоамплитудную активность регистрировалось под контактами 1–4 электрода НА', расположенными в области левой амигдалы, под контактами 1–4 электрода НС', расположенными в головке левого гиппокампа, и под контактами 1–4 электрода НТ', расположенными в теле левого гиппокампа. В ходе исследования регистрировалась интериктальная активность под контактами 1–4 электрода НС', расположенными в головке левого гиппокампа, под контактами 1–3 электрода НТ', расположенными в теле левого гиппокампа. Значительно менее выраженная по индексу представленности эпилептиформная

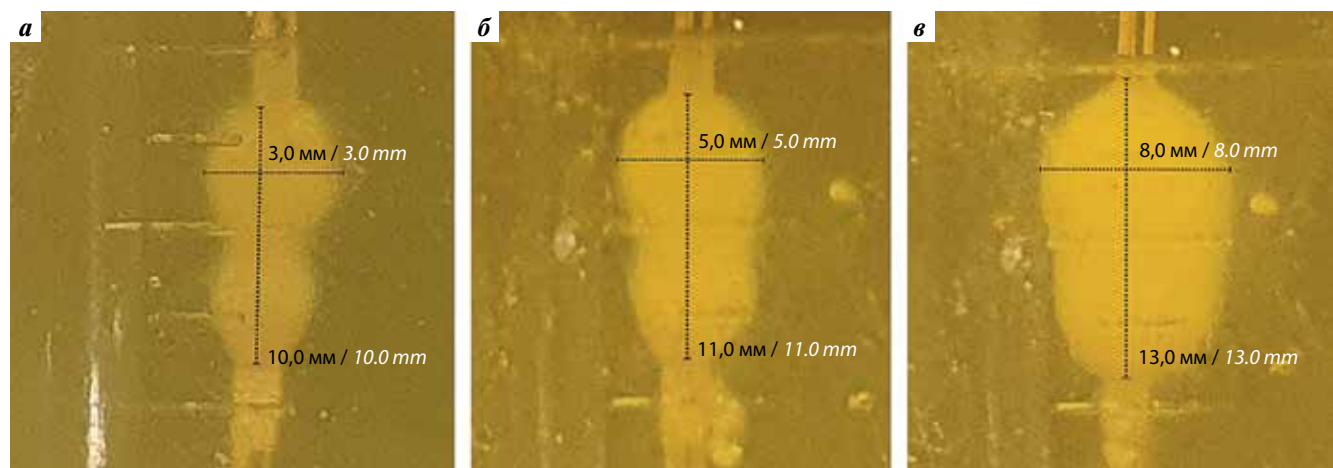


Рис. 2. Радиочастотная термокоагуляция на мощности 3 Вт между соседними контактами 1 электрода: а — продолжительность деструкции 90 с. Сформирован участок коагуляции размером 10×3 мм; б — продолжительность деструкции 120 с. Сформирован участок коагуляции размером 11×5 мм; в — продолжительность деструкции 180 с. Сформирован участок коагуляции размером 13×8 мм

Fig. 2. Radiofrequency thermocoagulation at 3 W power between adjacent contacts of one electrode: а — 90 seconds exposition. Lesion size 10×3 mm; б — 120 seconds exposition. Lesion size 11×5 mm; в — 180 seconds exposition. Lesion size 13×8 mm

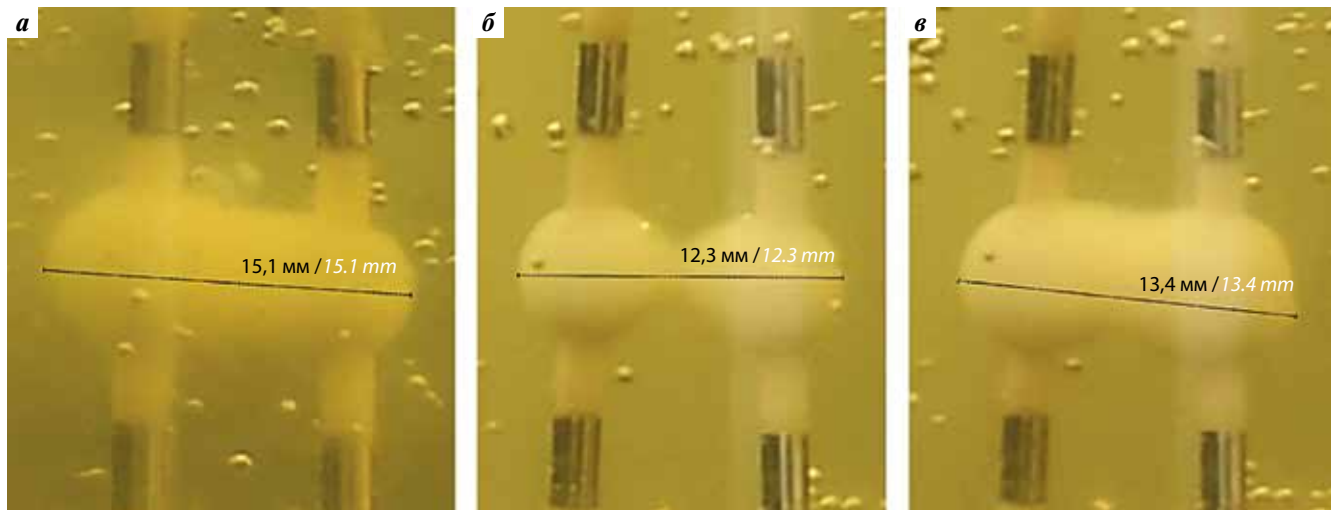


Рис. 3. Радиочастотная термокоагуляция между соседними контактами отдаленных электродов (межконтактное расстояние 5 мм), продолжительность деструкции 180 с: а — мощность 3 Вт. Сформирован участок коагуляции с поперечным размером 15,1 мм; б — мощность 5 Вт. Сформирован участок коагуляции с поперечным размером 12,3 мм; в — мощность 7 Вт. Сформирован участок коагуляции с поперечным размером 13,4 мм

Fig. 3. Radiofrequency thermocoagulation at 3 W power between adjacent contacts of two separate electrodes (interelectrode distance 5 mm) for 180 seconds: а — 3 W power. Lesion size 15.1 mm; б — 5 W power. Lesion size 12.3 mm; в — 7 W power. Lesion size 13.4 mm

Таблица 1. Размеры очагов радиочастотной термокоагуляции при использовании различных параметров

Table 1. Lesion sizes at different radiofrequency thermocoagulation parameters

Параметры термокоагуляции Thermocoagulation parameters		Размер участка коагуляции в зависимости от длительности экспозиции, мм Lesion size depending on duration of exposure, mm		
Контакты электродов Contacts of electrode	Мощность, Вт Capacity, W	90 с 90 sec	120 с 120 sec	180 с 180 sec
Соседние контакты одного электрода Adjacent contacts of one electrode	3	10 ± 0,5	11,3 ± 2,1	13 ± 3,2 × 8 ± 0,4
	5	10,5 ± 1,2	10,2 ± 0,7	10 ± 3,7 × 6 ± 1,4
	7	10,4 ± 1,4	10 ± 0,9	9,5 ± 1,2 × 5,3 ± 0,4
Отдаленные контакты одного электрода Remote contacts of one electrode	3	4 ± 1,2	4,8 ± 0,8	7,4 ± 1,7
	5	5,3 ± 0,4	6 ± 1,1	7,5 ± 1,9
	7	6,8 ± 0,9	7,4 ± 1,7	8 ± 2,5
Ближайшие контакты параллельно расположенных электродов Adjacent contacts of two separate electrodes	3	4,2 ± 1,2	9,3 ± 1	14 ± 2,4
	5	5,1 ± 0,6	6,6 ± 1,7	10 ± 2,2
	7	6,7 ± 1,3	8,8 ± 2,4	12 ± 3,1

активность отмечалась под контактами 4–6 электрода OF', расположенными в передних отделах левой островковой доли (рис. 5).

Пациентке выполнена РТ в области установленных электродов в левой височной доле (NA' — контакты 1–2, 2–3, 3–4, HC' — контакты 1–2, 2–3, 3–4, HT' — контакты 2–3, 3–4). С учетом объема выявленной эпилептогенной зоны РТ в данном случае носила не столько терапевтический, сколько диагностический характер.

При контрольной МРТ головного мозга (проведена в течение 24 ч после РТ) по траекториям удаленных электродов в зонах проведенной РТ визуализировались зоны деструкции с умеренным перифокальным отеком (рис. 6).

После проведения РТ представленность и амплитуда эпилептиформной активности под контактами электродов HC', HT' и OF' резко снизились, что может служить одним из критериев успешно проведенной РТ (рис. 7).



Рис. 4. Внешний вид электродов после выполнения радиочастотной термокоагуляции

Fig. 4. Electrode appearance after radiofrequency thermocoagulation

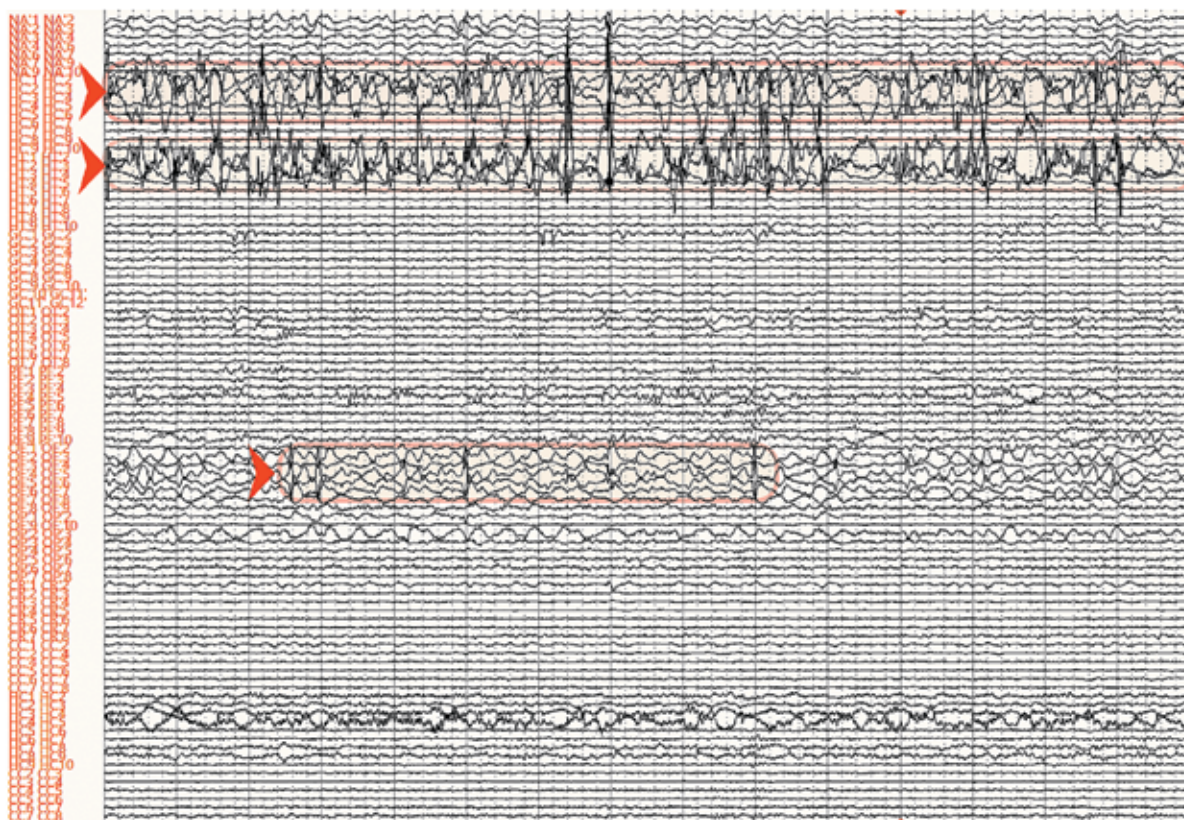


Рис. 5. Стерео-электроэнцефалография пациентки в межприступном периоде. Красными стрелками отмечены контакты, под которыми регистрировалась интериктальная эпилептическая активность

Fig. 5. Interictal stereoelectroencephalography. Red arrows show contacts under which interictal spiking was registered

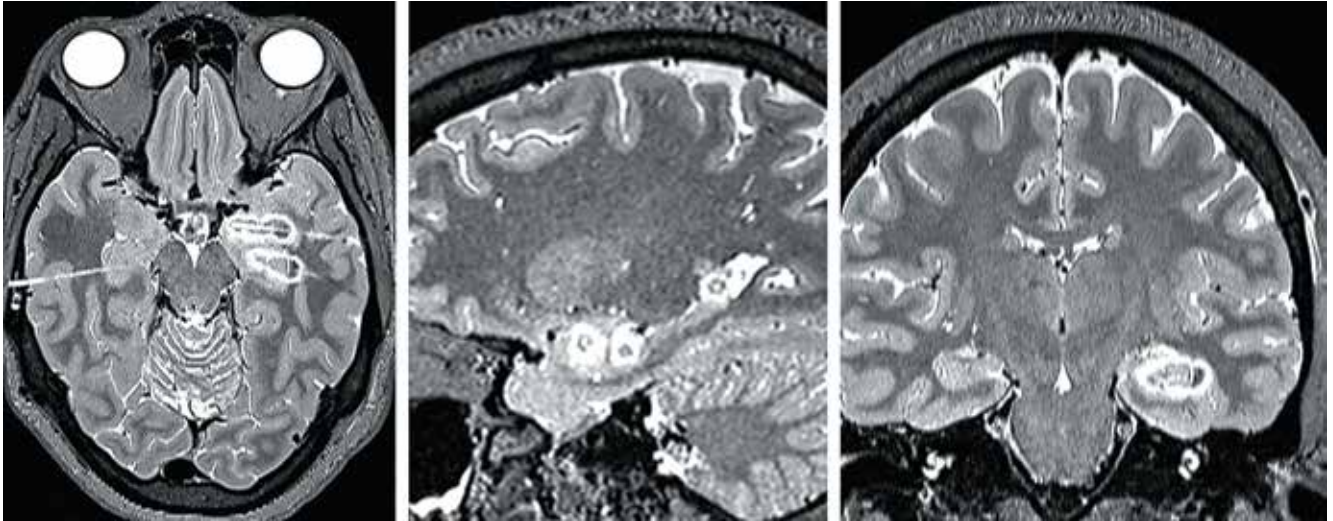


Рис. 6. Магнитно-резонансная томография пациентки после проведения радиочастотной термокоагуляции

Fig. 6. Magnetic resonance imaging after radiofrequency thermocoagulation

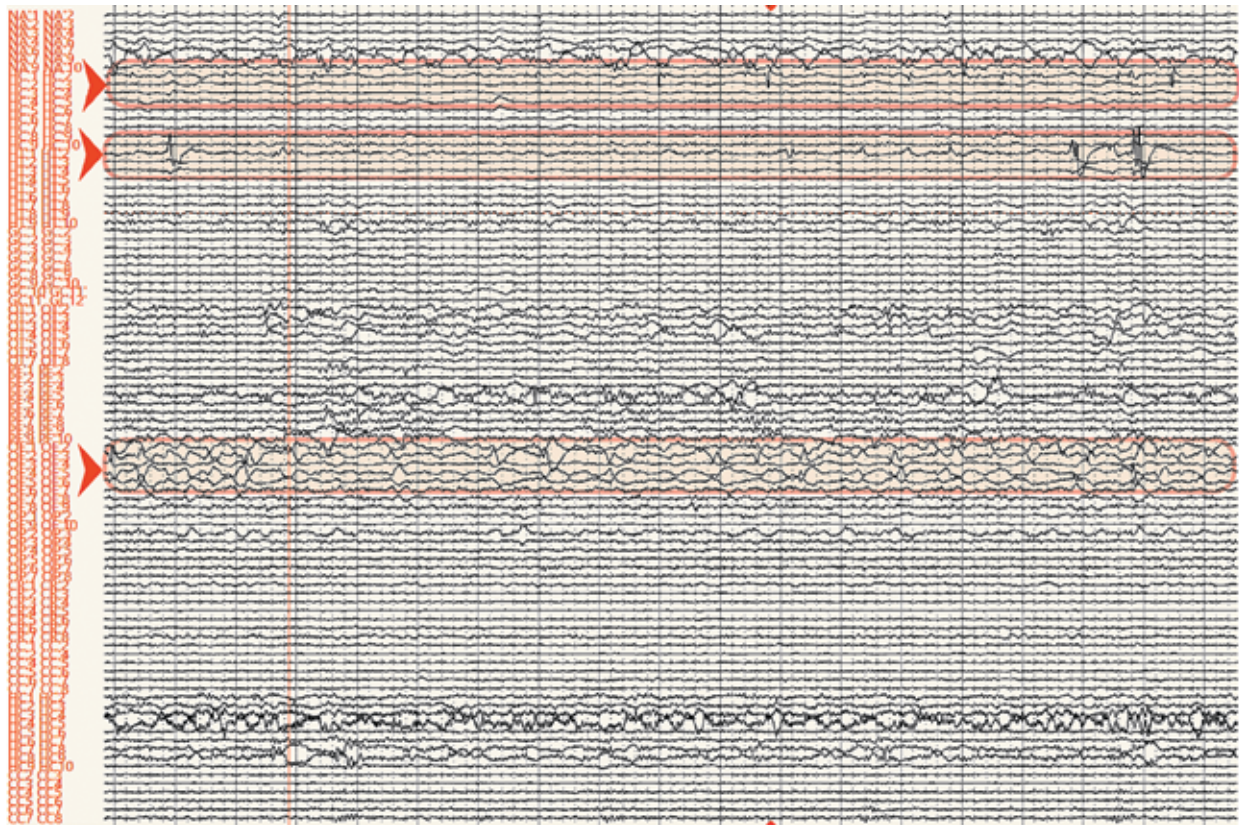


Рис. 7. Стерео-электроэнцефалография пациентки после проведения радиочастотной термокоагуляции. Красными стрелками отмечены контакты, под которыми регистрировалась интериктальная эпилептическая активность

Fig. 7. Stereoelectroencephalography after radiofrequency thermocoagulation. Red arrows show contacts under which interictal spiking was registered

После выполненного лечения у пациентки отмечалась ремиссия приступов в течение 2 мес. Таким образом, РТ позволила дополнительно подтвердить гипотезу о расположении эпилептогенной зоны в левой височной доле. Спустя 2 мес после РТ возобновились фокальные гипомо-

торные состояния, которые носили менее выраженный и продолжительный характер. На основании предхирургического обследования и результатов РТ принято решение о целесообразности проведения хирургического лечения. Пациентке выполнена операция: переднемедиальная

височная лоб- и амигдалгиппокампэктомия слева под нейрофизиологическим контролем с интраоперационным пробуждением.

Послеоперационный катамнез — 1 год: эпилептические приступы не повторялись, за это время дважды проведен суточный скальповый видео-ЭЭГ-мониторинг (через 6 и 12 мес после операции), по результатам которого эпилептиформная активность не зарегистрирована. Проводится постепенная отмена противоэпилептической терапии. Пациентка сообщила об улучшении качества жизни. Послеоперационный исход по шкале Engel — Ia.

Клинический пример 2. Пациентка, 32 лет, с фармакорезистентным течением фокальной эпилепсии. Семимесячно эпилептические приступы протекали в виде тошноты, гиперсаливации, чувства страха, клонии лица и шеи слева, клонии левой верхней конечности без утраты сознания. Частота эпилептических приступов при приеме противосудорожной терапии составляла до 1–2 раз в день. По результатам МРТ головного мозга выявлена фокальная корковая дисплазия (ФКД) правой лобной доли.

В связи с расположением области ФКД в непосредственной близости к функционально значимым зонам мозга для определения объема резекции принято решение о проведении стерео-ЭЭГ-мониторинга. По результатам

стерео-ЭЭГ зарегистрирована иктальная активность под контактами электродов, находящимися внутри области ФКД и в непосредственной близости от нее. На интериктальной записи с высоким индексом представленности зарегистрирована эпилептиформная активность под контактами 2–6 электрода АА, расположенными на границе лобной и теменной покрышки, под контактами 3–6 электрода ВВ, расположенными в теменной покрышке, под контактами 3–6 электрода D, расположенными в лобной покрышке, под контактами 5–6 электрода СС, расположенными в нижних отделах прецентральной извилины (рис. 8).

С помощью прямой электрической стимуляции через установленные электроды определены границы функционально значимой зоны. Выполнена РТ контактов электродов, вовлеченных в инициацию приступа, с сохранением контактов, расположенных в функционально значимой зоне — в медиальных отделах правой височной доли и медиобазальных отделах правой лобной доли: электроды АА — контакты 1–4, ВВ — контакты 4–6, СС — контакты 4–5. После проведенной РТ представленность и амплитуда эпилептиформной активности под контактами электродов АА, ВВ, СС и DD снизились, что может служить одним из критериев успешно проведенной РТ (рис. 9).



Рис. 8. Стерео-электроэнцефалография пациентки в межприступном периоде. Красными стрелками отмечены контакты, под которыми регистрировалась интериктальная эпилептиформная активность

Fig. 8. Interictal stereoelectroencephalography. Red arrows show contacts under which interictal spiking was registered

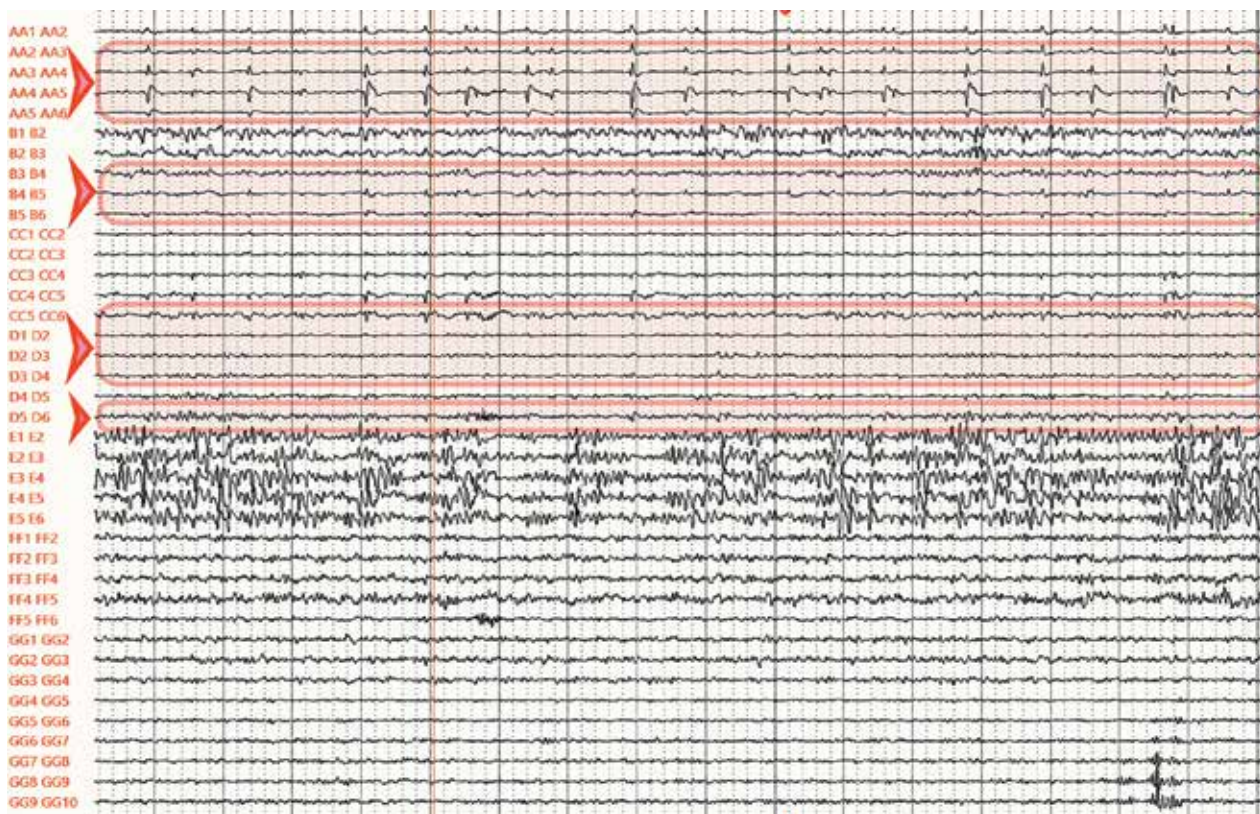


Рис. 9. Стерео-электроэнцефалография пациентки после проведения радиочастотной термокоагуляции. Красными стрелками отмечены контакты, под которыми регистрировалась интериктальная эпилептическая активность

Fig. 9. Stereoelectroencephalography after radiofrequency thermocoagulation. Red arrows show contacts under which interictal spiking was registered

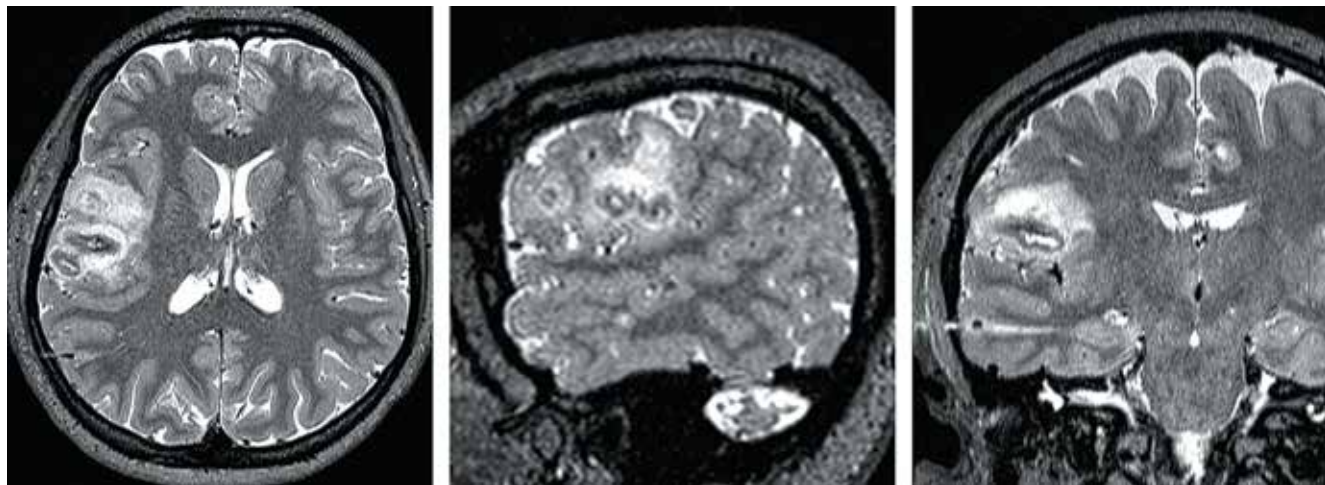


Рис. 10. Магнитно-резонансная томография пациентки после проведения радиочастотной термокоагуляции

Fig. 10. Magnetic resonance imaging after radiofrequency thermocoagulation

При контрольной МРТ головного мозга, выполненной в течение 24 ч после РТ, по траекториям удаленных электродов в зонах проведенной РТ визуализировались зоны деструкции с умеренным перифокальным отеком (рис. 10).

После проведения РТ эпилептических приступов не отмечалось. На данный момент пациентка свободна от приступов в течение 2 лет.

ОБСУЖДЕНИЕ

Радиочастотная термокоагуляция нашла широкое применение в клинической практике. Имеются опубликованные результаты экспериментальных исследований — как *in vitro*, так и *in vivo* [12, 13, 18, 20]. Согласно данным литературы, эффективность РТ для достижения положительного исхода (I–II по Engel)

составляет около 62 % [16]. Данный метод, применяемый по окончании записи стерео-ЭЭГ, позволяет добиться избавления от приступов без дополнительных хирургических вмешательств. В то же время свобода от приступов — не единственный клинически значимый эффект РТ. В зависимости от особенностей организации медицинской помощи пациентам с фармакорезистентной эпилепсией время ожидания резективного вмешательства может достигать 12 мес [21]. РТ позволяет снизить интенсивность и частоту судорожных приступов, что благоприятно сказывается на качестве жизни пациентов, ожидающих проведения нейрохирургического вмешательства [22]. По данным литературы, не описано значимых побочных эффектов проведения РТ, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения ввиду малого количества наблюдений [23].

Тем не менее в нашей стране применение метода ограничено. Прежде всего это связано с отсутствием

сертификации тех электродов, которые были использованы в клинических исследованиях с опубликованными результатами. В текущей работе приводятся результаты клинической апробации применения электродов Ad-Tech Medical (США). После получения одобрения локального этического комитета и при соблюдении этических и юридических аспектов нами проведено исследование *in vitro*, результаты которого сопоставимы с ранее выполненными работами, что позволяет «экстраполировать» результаты в клиническую практику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшие очаги деструкции формируются в результате РТ с меньшей мощностью и более длительной экспозицией. На эффективность РТ в качестве терапии эпилепсии влияет соотношение размера полученного ОД и размера эпилептогенной зоны.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kwan P., Brodie M.J. Early identification of refractory epilepsy. *N Engl J Med* 2000;342(5):314–9. DOI: 10.1056/NEJM200002033420503
2. Jobst B.C., Cascino G.D. Resective epilepsy surgery for drug-resistant focal epilepsy: a review. *JAMA* 2015;313(3):285–93. DOI: 10.1001/jama.2014.17426
3. Baumgartner C., Koren J.P., Britto-Arias M. et al. Presurgical epilepsy evaluation and epilepsy surgery. *F1000Res* 2019;8:F1000 Faculty Rev-1818. DOI: 10.12688/f1000research.17714.1
4. Anyanwu C., Motamedi G.K. Diagnosis and surgical treatment of drug-resistant epilepsy. *Brain Sci* 2018;8(4):49. DOI: 10.3390/brainsci8040049
5. Зуев А.А., Головтеев А.Л., Педяш Н.В. и др. Предхирургическая диагностика у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией. Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» 2020;84(1):109–17. DOI: 10.17116/neiro202084011109
Zuev A.A., Golovtsev A.L., Pedyash N.V. et al. Pre-surgical diagnostics in patients with intractable epilepsy. *Zhurnal Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko* = *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2020;84(1):109–17. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro202084011109.
6. Von Oertzen T.J. PET and ictal SPECT can be helpful for localizing epileptic foci. *Curr Opin Neurol* 2018;31(2):184–91. DOI: 10.1097/WCO.0000000000000527
7. Laohathai C., Ebersole J.S., Mosher J.C. et al. Practical fundamentals of clinical MEG interpretation in epilepsy. *Front Neurol* 2021;12:722986. DOI: 10.3389/fneur.2021.722986
8. Willems L.M., Reif P.S., Spyranis A. et al. Invasive EEG-electrodes in presurgical evaluation of epilepsies: systematic analysis of implantation-, video-EEG-monitoring- and explantation-related complications, and review of literature. *Epilepsy Behav* 2019;91:30–7. DOI: 10.1016/j.yebeh.2018.05.012
9. Garcia-Lorenzo B., Del Pino-Sedeño T., Rocamora R. et al. Stereoelectroencephalography for refractory epileptic patients considered for surgery: systematic review, meta-analysis, and economic evaluation. *Neurosurgery* 2019;84(2):326–38. DOI: 10.1093/neuros/nyy261
10. Mullin J.P., Shriver M., Alomar S. et al. Is SEEG safe? A systematic review and meta-analysis of stereo-electroencephalography-related complications. *Epilepsia* 2016;57(3):386–401. DOI: 10.1111/epi.13298
11. Catenox H., Mauguère F., Guénot M. et al. SEEG-guided thermocoagulations: a palliative treatment of nonoperable partial epilepsies. *Neurology* 2008;71(21):1719–26. DOI: 10.1212/01.wnl.0000335166.20451.88
12. Guénot M., Isnard J., Catenox H. et al. SEEG-guided RF-thermocoagulation of epileptic foci: a therapeutic alternative for drug-resistant non-operable partial epilepsies. *Adv Tech Stand Neurosurg* 2011;36:61–78. DOI: 10.1007/978-3-7091-0179-7_4
13. Staudt M.D., Maturu S., Miller J.P. Radiofrequency energy and electrode proximity influences stereoelectroencephalography-guided radiofrequency thermocoagulation lesion size: an *in vitro* study with clinical correlation. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2018;15(4):461–9. DOI: 10.1093/ons/oxx291
14. Cossu M., Fuschillo D., Casaceli G. et al. Stereoelectroencephalography-guided radiofrequency thermocoagulation in the epileptogenic zone: a retrospective study on 89 cases. *J Neurosurg* 2015;123(6):1358–67. DOI: 10.3171/2014.12.JNS141968
15. Catenox H., Bourdillon P., Guénot M., Isnard J. The combination of stereo-EEG and radiofrequency ablation. *Epilepsy Res* 2018;142:117–20. DOI: 10.1016/j.eplepsyres.2018.01.012
16. Kerezoudis P., Tsayem I.N., Lundstrom B.N., Van Gompel J.J. Systematic review and patient-level meta-analysis of radiofrequency ablation for medically refractory epilepsy: implications for clinical practice and research. *Seizure* 2022;102:113–9. DOI: 10.1016/j.seizure.2022.10.003
17. Bourdillon P., Rheims S., Catenox H. et al. Surgical techniques: stereoelectroencephalography-guided radiofrequency-thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC). *Seizure* 2020;77:64–8. DOI: 10.1016/j.seizure.2019.01.021
18. Fan X., Shan Y., Lu C. et al. Optimized SEEG-guided radiofrequency thermocoagulation for mesial temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis. *Seizure* 2019;71:304–11. DOI: 10.1016/j.seizure.2019.08.011
19. Kang S.S., Park J.C., Yoon Y.J., Shin K.M. Morphologic analysis of water-cooled bipolar radiofrequency lesions on egg white *in vitro*. *Korean J Pain* 2012;25(3):151–4. DOI: 10.3344/kjp.2012.25.3.151

20. Bourdillon P., Isnard J., Catenoix H. et al. Stereo-electro-encephalography-guided radiofrequency thermocoagulation: from *in vitro* and *in vivo* data to technical guidelines. *World Neurosurg* 2016;94:73–9. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.06.095
21. Vakharia V.N., Duncan J.S., Witt J.A. et al. Getting the best outcomes from epilepsy surgery. *Ann Neurol* 2018;83(4):676–90. DOI: 10.1002/ana.25205
22. Steriade C., Martins W., Bulacio J. et al. Localization yield and seizure outcome in patients undergoing bilateral SEEG exploration. *Epilepsia* 2019;60(1):107–20. DOI: 10.1111/epi.14624
23. Mirza F.A., Hall J.A. Radiofrequency thermocoagulation in refractory focal epilepsy: the Montreal Neurological Institute experience. *Can J Neurol Sci* 2021;48(5):626–39. DOI: 10.1017/cjn.2020.263

Вклад авторов

Е.А. Гордеева: написание текста статьи;

А.В. Димерцев: проведение эксперимента *in vitro*, проведение радиочастотной термокоагуляции пациентам с установленными стерео-электродами, написание и редактирование текста статьи;

И.П. Саламов: проведение эксперимента *in vitro*, проведение радиочастотной термокоагуляции пациентам с установленными стерео-электродами;

Н.О. Ивин: описание клинических случаев;

А.А. Зуев: разработка идеи статьи, редактирование текста статьи.

Authors' contributions

E.A. Gordeyeva: article writing;

A.V. Dimertsev: conducting an *in vitro* experiment, conducting radiofrequency thermocoagulation in patients with installed stereo electrodes, writing and editing of the article;

I.P. Salamov: conducting an *in vitro* experiment, conducting radiofrequency thermocoagulation in patients with installed stereo electrodes;

N.O. Ivin: description of clinical cases;

A.A. Zuev: developing the idea of the article, writing and editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

Е.А. Гордеева / E.A. Gordeyeva: <https://orcid.org/0000-0003-1800-1055>

А.В. Димерцев / A.V. Dimertsev: <https://orcid.org/0000-0003-4578-2205>

И.П. Саламов / I.P. Salamov: <https://orcid.org/0000-0002-6233-9283>

Н.О. Ивин / N.O. Ivin: <https://orcid.org/0000-0002-4620-9083>

А.А. Зуев / A.A. Zuev: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов

Протокол исследования одобрен на заседании Локального этического комитета ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (№ 5 от 22.05.2024). Пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.

Compliance with patient rights

The research protocol was approved at the meeting of the Local Ethics Committee of N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Ministry of Health of Russia (No. 5 dated 22.05.2024). The patients gave written informed consent to the publication of their data.

Статья поступила: 13.10.2023. Принята к публикации: 19.11.2024. Опубликовано онлайн: 15.04.2025.

Article submitted: 13.10.2023. Accepted for publication: 19.11.2024. Published online: 15.04.2025.