

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

ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния

2023 Том 15 №1



EPILEPSY AND PAROXYSMAL CONDITIONS

2023 Vol. 15 №1

www.epilepsia.su

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) 649-54-95; эл. почта: info@irbis-1.ru.



<https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.133>

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

Постразрядная активность как основание изменения протокола интраоперационного картирования функционально значимых зон головного мозга

Подгурская М.Г.¹, Каньшина Д.С.², Димерцев А.В.³,
Александров М.В.⁴, Никитин С.С.⁵

¹ Клиника «Медси» (3-й Хорошевский пр-д, д. 1, стр. 2, Москва 123007, Россия)

² Государственное бюджетное учреждение здравоохранения г. Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения г. Москвы (ул. Большая полянка, д. 22, Москва 119180, Россия)

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Нижняя Первомайская, д. 70, Москва 105203, Россия)

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург 197341, Россия)

⁵ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Медико-генетический научный центр им. академика Н.П. Бочкова» (ул. Москворечье, д. 1, Москва 115478, Россия)

Для контактов: Подгурская Мария Геннадьевна, e-mail: dr.maria.podgurskaya@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Постразрядная активность (ПА) – отличающийся от фоновой кортикографии паттерн активности, который представлен ритмичными стереотипными замедленными волнами и/или повторяющимися спайковыми разрядами с частотой 1 Гц и более, регистрируется после появления электростимуляции и продолжается дольше 2 с. Несмотря на накопленный опыт в области интраоперационного нейромониторинга, единого протокола высокочастотной стимуляции функционально значимых зон (ФЗЗ) головного мозга при появлении ПА нет.

Цель: продемонстрировать необходимость изменения протокола интраоперационного картирования ФЗЗ у пациентов с новообразованиями головного мозга в условиях пробуждения в случаях регистрации ПА.

Материал и методы. Представлено два клинических наблюдения хирургического лечения пациентов с новообразованиями ФЗЗ головного мозга под контролем интраоперационного нейромониторинга в условиях пробуждения. Мультиmodalный мониторинг включал высокочастотную стимуляцию по утвержденному внутрибольничному протоколу с максимальной силой стимуляции слухоречевых зон 2,5 мА, электрокортикографию, субкортикальное динамическое картирование.

Результаты. В первом случае при поиске ФЗЗ у пациента с одним эпилептическим приступом в анамнезе по достижении максимальной силы стимуляции 2,5 мА зарегистрирована ПА, сменившаяся фокальной эпилептиформной активностью с эволюцией в иктальный генерализованный паттерн и развитием интраоперационного судорожного приступа. У второго пациента с периодическими эпилептическими приступами в анамнезе при стимуляции 2,5 мА зарегистрирована ПА с пространственно-временной эволюцией паттерна без развития клинического иктального события. В обоих случаях появление ПА потребовало изменения протокола картирования с пошаговым снижением силы стимула для получения данных по ФЗЗ коры головного мозга.

Заключение. Регистрация ПА является основой для изменения протокола высокочастотной стимуляции коры головного мозга при хирургическом лечении новообразования ФЗЗ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Клиническая нейрофизиология, биоэлектрическая активность, электрокортикография, постразрядная активность, картирование функционально значимых зон, интраоперационный нейромониторинг, опухоли головного мозга.

Статья поступила: 17.10.2022 г.; **в доработанном виде:** 23.12.2022 г.; **принята к печати:** 06.02.2023 г.

Конфликт интересов

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

Вклад авторов

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования

Подгурская М.Г., Каньшина Д.С., Димерцев А.В., Александров М.В., Никитин С.С. Постразрядная активность как основание изменения протокола интраоперационного картирования функционально значимых зон головного мозга. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2023; 15 (1): 36–43. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.133>.

After-discharge activity as a basis to change intraoperative mapping protocol for functionally significant brain areas

Podgurskaya M.G.¹, Kanshina D.S.², Dimertsev A.V.³, Alexandrov M.V.⁴, Nikitin S.S.⁵

¹ Medsi Clinic (1 bldg 2 3rd Khoroshevskiy Dr., Moscow 123007, Россия)

² Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology (22 Bolshaya Polyanka Str., Moscow 119180, Russia)

³ Pirogov National Medical and Surgical Center (70 Nizhnyaya Pervomayskaya Str., Moscow 105203, Russia)

⁴ Almazov National Medical Research Center (2 Akkuratov Str., Saint Petersburg 197341, Russia)

⁵ Bochkov Medical and Genetic Research Center (1 Moskvorechye Str., Moscow 115478, Russia)

Corresponding author: Maria G. Podgurskaya, e-mail: dr.maria.podgurskaya@gmail.com

SUMMARY

Background. After-discharge (AD) activity is a pattern that differs from background corticography, represented by rhythmic stereotypical slow waves and/or repetitive spike discharges with ≥ 1 Hz frequency, recorded after cessation of electrical stimulation and lasting for more than 2 seconds. Despite the accumulated experience in the field of intraoperative neuromonitoring, there is no unified protocol for high-frequency stimulation of cortical functional areas (FAs) upon the AD event.

Objective: to demonstrate a need to change the intraoperative FAs mapping protocol in patients with brain tumor on awakening in cases of AD recording.

Material and methods. Two clinical cases of awake surgical functional mapping followed by resection of the brain tumor are presented. Multimodal monitoring included high-frequency stimulation according to the approved intrahospital protocol with maximum stimulation force of auditory-speech zones of 2.5 mA, electrocorticography, and subcortical dynamic mapping.

Results. In the first case, AD was registered while FAs mapping in a patient with a history of one epileptic seizure, upon reaching the maximum stimulation force of 2.5 mA, that was replaced by recording focal epileptiform activity with the following evolution to ictal generalized event and development of intraoperative convulsive seizure. In the second patient with a history of recurrent epileptic seizures, AD with spatiotemporal evolution of the pattern development of clinical ictal event was registered with stimulation at 2.5 mA. In both cases, the appearance of AD required to change mapping protocol with a stepwise decrease in stimulus strength to obtain cortical FAs data.

Conclusion. Registration of AD is the basis for changing the protocol of high-frequency cortical stimulation in surgical treatment of brain tumor FAs.

KEYWORDS

Clinical neurophysiology, bioelectrical activity, electrocorticography, post-discharge activity, functionally significant areas mapping, intraoperative neuromonitoring, brain tumors.

Received: 17.10.2022; **in the revised form:** 23.12.2022; **accepted:** 06.02.2023

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest regarding this publication.

Authors' contribution

All authors contributed equally to this article.

For citation

Podgurskaya M.G., Kanshina D.S., Dimertsev A.V., Alexandrov M.V., Nikitin S.S. After-discharge activity as a basis to change intraoperative mapping protocol for functionally significant brain areas. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2023; 15 (1): 36–43 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.133>.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Задачей интраоперационного нейромониторинга при резекции внутримозговых новообразований слухоречевых проекций коры головного мозга в условиях пробуждения является результативное картирование функционально значимых зон (ФЗЗ). Непрерывная регистрация кортикограммы позволяет идентифицировать феномен постразрядной активности (ПА) при проведении высокочастотной стимуляции коры головного мозга.

Сегодня ПА определяется как электрокортикографический (ЭКоГ) паттерн, регистрируемый после прекращения электростимуляции, представленный ритмичными стереотипными медленными волнами и/или повторяющимися полиспайковыми разрядами частотой ≥ 1 Гц и длящийся дольше 2 с [1]. Отличительной особенностью морфологии паттерна является высокая амплитуда потенциалов по сравнению с фоновой активностью коры головного мозга [1].

Считается, что порог ПА отражает наименьшую интенсивность стимула, провоцирующего речевые, сенсомоторные или сенсорные нарушения при интраоперационном высокочастотном картировании [2]. При верификации функционально значимой зоны ПА чаще регистрируется над теми участками коры, стимуляция которых провоцирует возникновение клинических событий [3, 4].

В настоящее время нет критериев, позволяющих дифференцировать ПА от начала иктального паттерна, регистрируемого при интраоперационном картировании и, как следствие, нет единого стандартного протокола высокочастотной стимуляции при хирургии новообразований ФЗЗ в сознании.

Цель – продемонстрировать необходимость изменения протокола интраоперационного картирования ФЗЗ у пациентов с новообразованиями головного мозга в условиях пробуждения в случаях регистрации ПА.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ / MATERIAL AND METHODS

Представляем два клинических наблюдения результатов интраоперационного нейрофизиологического мониторинга с использованием мультимодальной системы NIM Eclipse (Medtronic, США), выполненного в ходе хирургического лечения новообразований в проекции слухоречевых зон коры головного мозга. Мультимодальный мониторинг включал прямое высокочастотное стимуляционное картирование, регистрацию ЭКоГ, динамическое субкортикальное моторное картирование. В обоих слу-

чаях на ЭКоГ регистрировался феномен ПА при выполнении прямого стимуляционного картирования.

Высокочастотная стимуляция / High-frequency stimulation

Высокочастотную стимуляцию слухоречевых зон выполняли в проекции нижних отделов прецентральной извилины, оперкулярной части нижней лобной извилины, зон Брока и Вернике. Стимуляцию проводили биполярно сериями стимулов прямоугольной формы длительностью 0,5 мс. Стимулы 60 Гц подавались непрерывно в течение 1–4 с. Электростимуляцию коры осуществляли инкрементно с шагом 0,5 мА [5, 6]. Параллельно выполняли тестирование речи по стандартизированному протоколу [7]. Повышение силы стимула прекращали при достоверной идентификации ФЗЗ или регистрации ПА. По достижении максимальной интенсивности стимула 2,5 мА при отсутствии клинических проявлений тестируемая зона коры маркировалась как «немая».

Электрокортикография / Electrocorticography

Одновременно с прямой электростимуляцией проводили регистрацию ЭКоГ для своевременной верификации ПА и/или иктальной активности и снижения риска совпадения кортикальной стимуляции с рефрактерным периодом. Регистрацию выполняли корковыми 8-контактными электродными полосками (AdTech, США) в биполярном монтаже. Полоса пропускания 0,3–70 Гц.

Пациент 1 / Patient 1

Мужчина 50 лет, правша, поступил в отделение нейрохирургии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва) с жалобами на головную боль. Со слов больного и по предоставленной медицинской документации, в июле 2021 г. развился эпилептический приступ, в связи с чем был госпитализирован с подозрением на инсульт. На магнитно-резонансной томографии (МРТ) головного мозга выявлено объемное образование левой лобной доли размерами 3,17×2,9×2,37 см, объемом 14 см³. При контрастировании отмечено неравномерное накопление контрастного вещества в медиальных отделах опухоли (**рис. 1**).

Выполнены костно-пластическая трепанация черепа, резекция новообразования под нейрофизиологическим контролем.

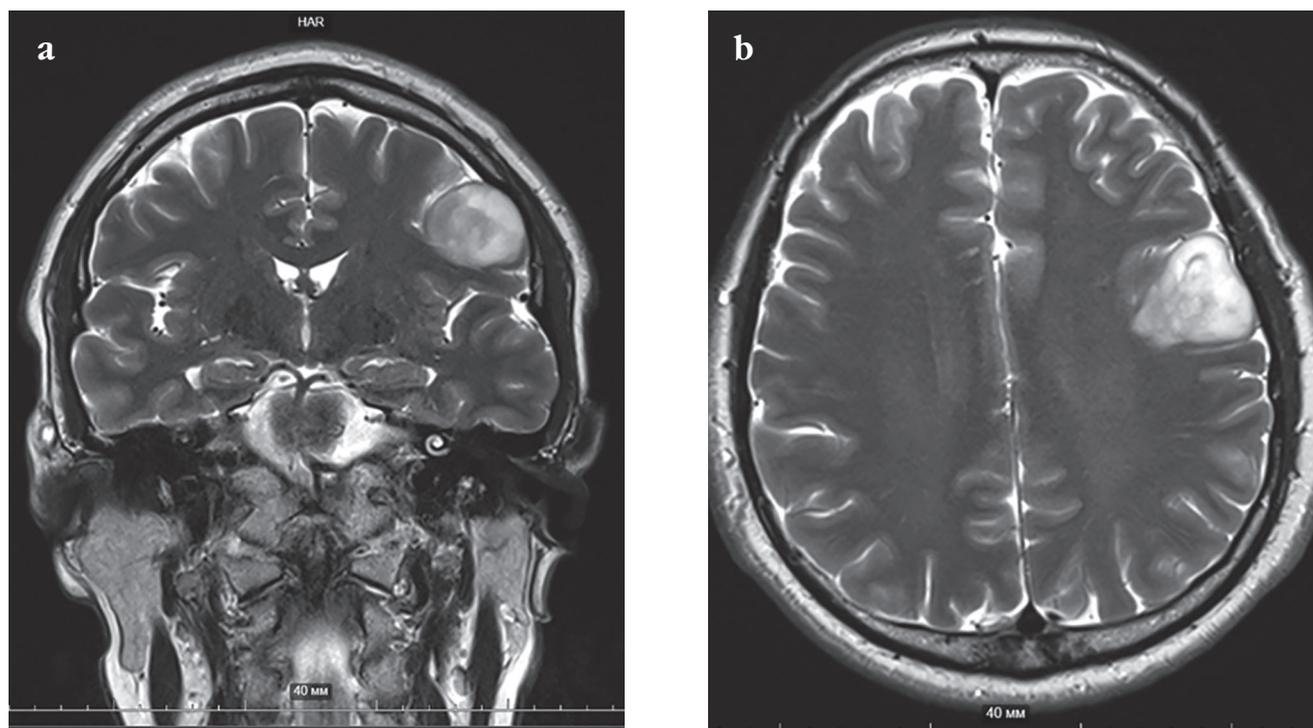


Рисунок 1. Магнитно-резонансные томограммы головного мозга Пациента 1, T2-взвешенные изображения, режим FLAIR. Объемное образование левой лобной доли головного мозга размерами 3,17×2,9×2,37 см, объемом 14 см³. Коронарная (а) и аксиальная (b) нативные проекции

Figure 1. Patient 1. Brain T2 weighted FLAIR magnetic resonance images. Mass lesion of left frontal lobe, 3.17×2.9×2.37 cm, 14 cm³. Coronal (a) and axial (b) native projections

Пациентка 2 / Patient 2

Женщина 47 лет, правша, поступила в отделение нейрохирургии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва) с жалобами на периодические судорожные приступы и головную боль, которые беспокоят длительно. Консервативная терапия без эффекта. На МРТ головного мозга от сентября 2021 г. выявлено объемное образование левых лобной, височной и островковой долей размерами 5,95×5,99×8,79 см, объемом 136,5 см³, неинтенсивно и неоднородно накапливающее контрастное вещество (рис. 2).

Со слов пациентки, рекомендованную постоянную противоэпилептическую терапию не принимала.

Выполнены костно-пластическая трепанация черепа, резекция новообразования под нейрофизиологическим контролем.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Пациент 1 / Patient 1

При выполнении интраоперационного картирования путем прямой электростимуляции по достижении интенсивности стимула максимального значения 2,5 мА на ЭКоГ зарегистрирована ПА в виде фокальной ритмичной разрядной активности 8–10 Гц длительностью до 5 с с амплитудным преобладанием относительно ранее

регистрируемой биоэлектрической активности (рис. 3а). ПА сменилась фокальной эпилептиформной активностью (рис. 3б), которая эволюционировала в иктальный паттерн с развитием вторичной генерализации (рис. 3с). Эпилептиформной активности клинически соответствовало развитие интраоперационного судорожного приступа. После купирования приступа и орошения коры холодным физиологическим раствором картирование было продолжено. Сила стимуляции была снижена до 2 мА, что позволило верифицировать ФЗЗ коры (рис. 3д).

Пациентка 2 / Patient 2

При выполнении интраоперационного стимуляционного картирования по достижении интенсивности стимула максимального значения 2,5 мА на ЭКоГ зарегистрирована ПА в виде фокальной разрядной активности 4–6 Гц длительностью до 10 с (рис. 4а, б), не сопровождавшейся интраоперационным судорожным приступом. В связи с регистрацией ПА, а также учитывая наличие структурной эпилепсии у пациентки, сила стимула была снижена до 2 мА, что позволило верифицировать ФЗЗ коры (рис. 4с).

ОБСУЖДЕНИЕ / DISCUSSION

Противоречивые результаты появления феномена ПА при высокочастотной стимуляции ФЗЗ коры головного мозга (в первом случае у пациента с одним эпилепти-

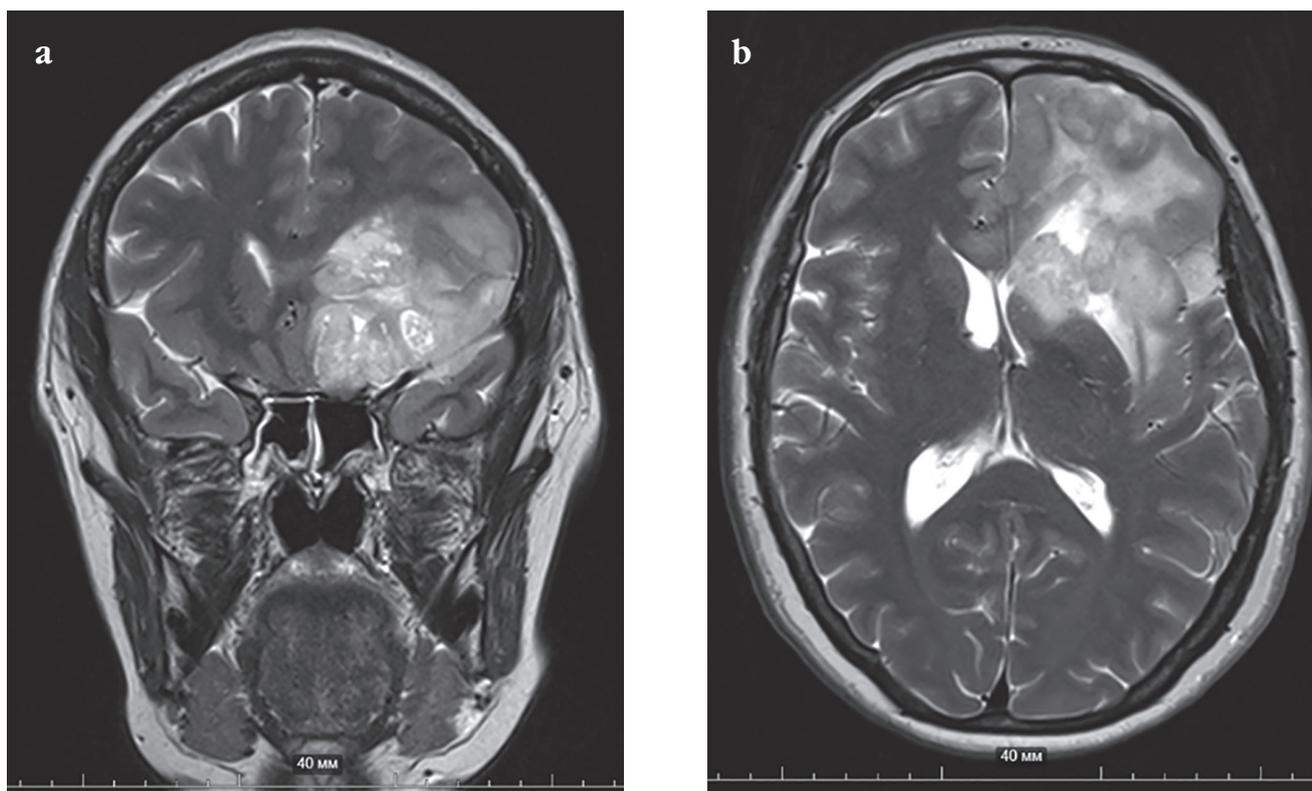


Рисунок 2. Магнитно-резонансные томограммы головного мозга Пациентки 2, T2-взвешенные изображения, режим FLAIR. Объемное образование левых лобной, височной и островковой долей головного мозга размерами 5,95×5,99×8,79 см, объемом 136,5 см³. Коронарная (а) и аксиальная (б) нативные проекции

Figure 2. Patient 2. Brain T2 weighted FLAIR magnetic resonance images. Mass lesion of the left frontal, temporal and insular brain lobes, 5,95×5,99×8,79 cm, 136,5 cm³. Coronal (a) and axial (b) native projections

чекским приступом в анамнезе и трансформацией ПА в иктальный паттерн, во втором – регистрация ПА без развития клинического события у пациентки с периодическими эпилептическими приступами в анамнезе в отсутствие противосудорожной терапии) заставили обратиться к литературным источникам с целью анализа патогенетических механизмов феномена ПА.

При изучении данных по стимуляционному картированию коры головного мозга человека, в основном при хирургическом лечении фокальных форм эпилепсии, оказалось, что не каждая электрическая стимуляция коры провоцирует развитие ПА [8]. Была предложена классификация паттернов ПА по морфологии: последовательные спайки (типы А, В, С, Н, L), последовательные спайки с паузами (типы К, G), спайк-волны (типы D, F, J) и ритмичные волны [8]. Отмечено, что эволюция иктального паттерна гораздо чаще происходила при регистрации ритмичных видов ПА (44%), чем при ПА другой морфологии (7%) [2].

При микроэлектродной регистрации в 1960 г. P. Gerin установил, что ПА представляет собой ритмичные высокоамплитудные колебания локального потенциала поля, которые вначале не зависят от индивидуальных потенциалов действия нейронов, но позже вовлекаются в синхронизированную активность [9].

В исследованиях 1980–90-х гг. показано, что за счет падения интенсивности стимуляции за пределами зоны

непосредственного контакта со стимулирующим электродом могут быть пропущены ФЗЗ при картировании коры головного мозга. В то же время доказана возможность регистрации ПА как в зоне стимуляции, так и в смежных участках за счет распространения деполаризации по проводящим путям белого вещества головного мозга. Высказывались предположения о возможности предугадать участки возникновения ПА по показателям фоновой записи и большей частоте ее регистрации в ФЗЗ [9].

В 2004 г. W.T. Blume et al. предложили обновленную классификацию эпилептиформных графоэлементов для описания ПА, обозначаемых как «типы Блума»: I тип – ритмические волны, II тип – спайк-волны, III тип – полиспайки, IV тип – последовательные спайки [2]. Большинство кортикографических записей демонстрируют возможность регистрации больше чем одного типа ПА. Согласно данным R.P. Lasser [3] и N. Pouratian et al. [10] пороги выявления ПА вариабельны даже при повторном тестировании одного и того же контакта у одного и того же пациента. Попытки найти корреляции между эпизодически регистрируемой ПА, продолженной ПА, сопровождающейся клиническими приступами, а также иктальными паттернами при спонтанных эпилептических приступах, возникающих вне стимуляции, не удалось [2, 3]. Это свидетельствует о возможности возникновения ПА независимо от эпилептогенности стимулируемой зоны коры.

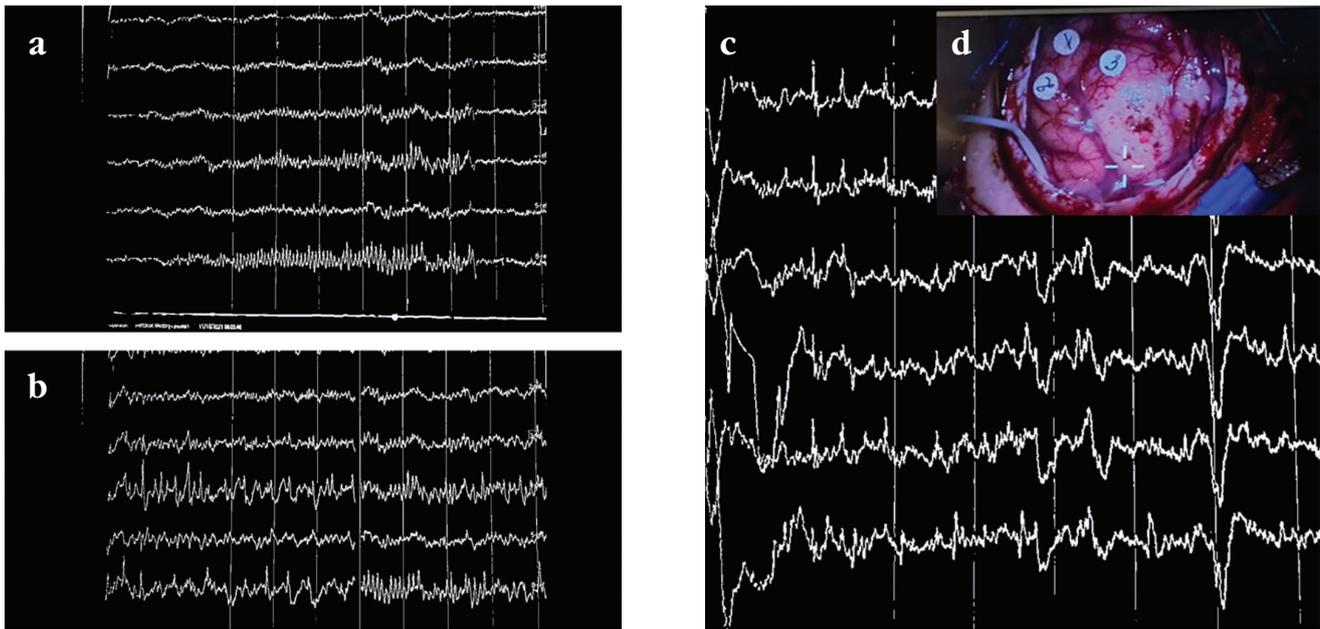


Рисунок 3. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг у Пациента 1 (электрокортикография и стимуляционное картирование функционально значимых зон): а – регистрация паттерна постразрядной активности длительностью 5 с; б – фокальная эпилептиформная активность; с – иктальный паттерн с вторичной генерализацией; d – расположение на коре нижних отделов прецентральной извилины и оперкулярной части нижней лобной извилины меток для верифицированных функционально значимых зон (1 – афазия и движения лица; 2 – дизартрия; 3 – дизартрия и афазия)

Figure 3. Patient 1. Intraoperative neurophysiological monitoring (electrocorticography and functional mapping): a – registered 5 sec-long post-discharge activity pattern; b – focal epileptiform activity; c – ictal pattern with secondary generalization; d – labels positioned on the cortex of precentral gyrus lower sections and inferior frontal gyrus opercular part for verified functionally significant areas (1 – aphasia and facial movements; 2 – dysarthria; 3 – dysarthria and aphasia)

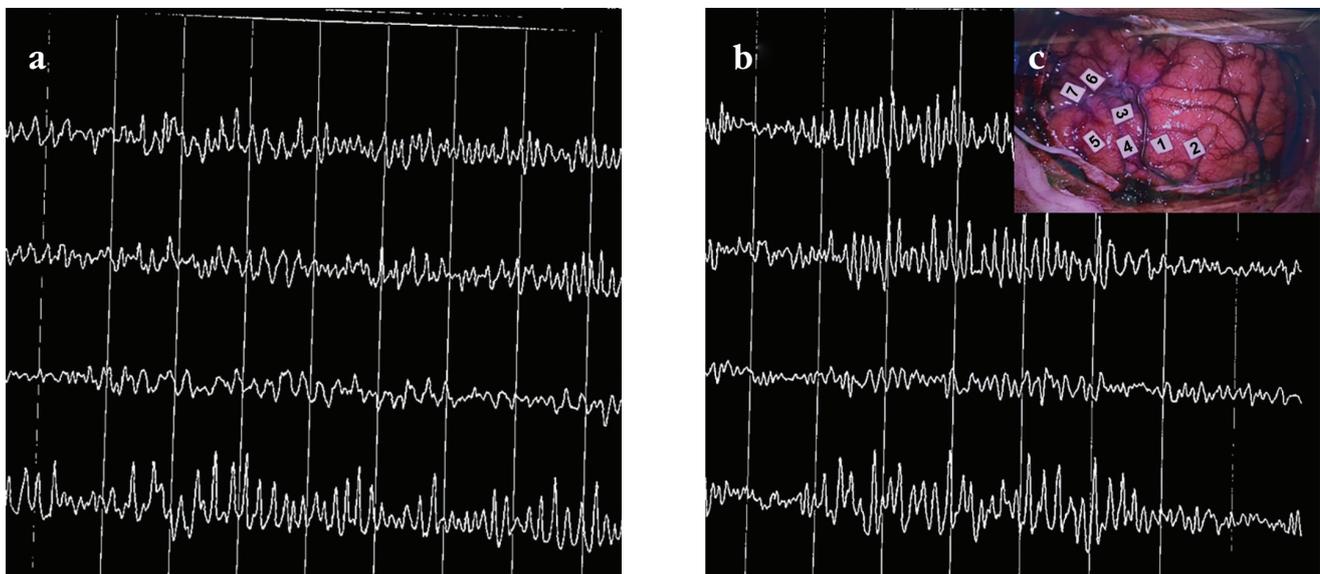


Рисунок 4. Паттерн постразрядной активности на интраоперационной электрокортикограмме Пациентки 2 (биполярный монтаж):

а – регистрация ритмизированных разрядов частотой 4–5 Гц длительностью до 10 с; б – пространственно-временная эволюция постразрядной активности, увеличение амплитуды и частоты следования эпилептиформных разрядов; с – расположение меток для верифицированных функционально значимых зон (1, 2 – задние отделы нижней лобной извилины; 3, 4 – зона Брока; 5–7 – зона Вернике)

Figure 4. Patient 2. After-discharge activity pattern on the intraoperative electrocorticogram (bipolar montage): a – registered rhythmic discharges with 4–5 Hz frequency lasting for up to 10 sec; b – the spatio-temporal pattern evolution of after-discharge activity, increased frequency and repetition rate of epileptiform discharges; c – labels positioned for verified functional significant areas (1, 2 – dorsal parts of the inferior frontal gyrus; 3, 4 – Broca area; 5–7 – Wernicke area)

L.J. Hirsch et al. зарегистрировали субклинический эпилептический приступ в случае наличия ПА продолжительностью дольше 10 с независимо от пространственно-временной эволюции паттерна, что оспаривает предположение о физиологическом характере данного феномена [11].

В работе коллектива авторов в 2015–2016 гг. проведена аналогия между возникновением периодических латерализованных разрядов при длительном электроэнцефалографическом мониторинге и ПА, регистрируемой на ЭКОГ. Высказана гипотеза о том, что в основе ритмичной разрядной активности лежит феномен «конденсации» основных ритмов: генерация нескольких видов ритмичной активности разной частоты с последующей их синхронизацией [12]. Предположено, что ПА возникает за счет избирательного истощения интернейронов в ответ на повторяющуюся деполяризацию, вызванную электрической стимуляцией.

Исследования последних лет подтверждают предложенные ранее гипотезы: ПА имеет разные пороги деполяризации для разных зон коры головного мозга и может регистрироваться как локально (вследствие деполяризации нервных структур в непосредственной близости от стимулирующих элементов), так и дистанционно (за счет возбуждения субкортикальных проекционных связей) [13–15]. Тем не менее следует признать, что интерпретация ПА как субклинического иктального паттерна остается дискуссионной. Ряд авторов рассматривают ПА как динамическую цепную реакцию мозга на электрический стресс или физиологическую реакцию коры на электрическую стимуляцию. Согласно наблюдениям в таком случае длительность феномена может достигать 10 с и более, не сопровождаясь при этом пространственно-временной эволюцией паттерна или клиническими проявлениями [13, 14].

ЛИТЕРАТУРА:

- Kalamangalam G.P., Tandon N., Slater J.D. Dynamic mechanisms underlying after-discharge: a human subdural recording study. *Clin Neurophysiol.* 2014; 125 (7): 1324–38. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.11.027>.
- Blume W.T., Jones D.C., Pathak P. Properties of after-discharges from cortical electrical stimulation in focal epilepsies. *Clin Neurophysiol.* 2004; 115 (4): 982–9. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.11.023>.
- Lasser R.P., Lee H.W., Webber W.R.S. Short-term variations in response distribution to cortical stimulation. *Brain.* 2008; 131 (Pt. 6): 1528–39 <https://doi.org/10.1093/brain/awn044>.
- Trebuchon A., Guye M., Tcherniack V., et al. Interest of EEG recording during direct electrical stimulation for brain mapping function in surgery. *Ann Fr Anesth Reanim.* 2012; 31 (6): e87–90 (на фр. яз.). <https://doi.org/10.1016/j.annfar.2012.04.010>.
- Chang E.F., Breshears J.D., Raygor K.P., et al. Stereotactic probability and variability of speech arrest and anomia sites during stimulation mapping of the language dominant hemisphere. *J Neurosurg.* 2017; 126 (1): 114–21. <https://doi.org/10.3171/2015.10.JNS151087>.
- Tate M.C., Herbet G., Moritz-Gasser S., et al. Probabilistic map of critical functional regions of the human cerebral cortex: Broca's area revisited. *Brain.* 2014; 137 (Pt. 10): 2773–82. <https://doi.org/10.1093/brain/aww168>.
- Драгой О.В., Крабис А.В., Толкачева В.А., Буклина С.Б. Русский интраоперационный тест на название: стандартизированный инструмент для картирования функции названия существительных и глаголов во время нейрохирургических операций в сознании. *Российский журнал когнитивной науки.* 2016; 3 (4): 4–25.
- Lesser R.P., Lüders H., Klem G., et al. Cortical afterdischarge and functional response thresholds: results of intraoperative testing. *Epilepsia.* 1984; 25 (5): 615–21. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1984.tb03471.x>.
- Gerin P. A new example of variation in the continuous amplitude of the elementary neuronal points: unitary behavior of some epileptic cortical discharges. *Rev Neurol (Paris).* 1960; 103: 209–16.
- Pouratian N., Cannestra A.F., Bookheimer S.Y., et al. Variability of intraoperative electrocortical stimulation mapping parameters across and within individuals. *J Neurosurg.* 2004; 101 (3): 458–66. <https://doi.org/10.3171/jns.2004.101.3.0458>.
- Hirsch L.J., LaRoche S.M., Gaspard N., et al. American Clinical Neurophysiology Society's standardized critical care EEG terminology: 2012 version. *J Clin Neurophysiol.* 2013; 30 (1): 27. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3182784729>.
- Kalamangalam G.P., Slater J.D. Periodic lateralized epileptiform discharges and after-discharges: common dynamic mechanisms. *J Clin Neurophysiol.* 2015; 32 (4): 331–40. <https://doi.org/10.1097/NP.000000000000173>.
- Suzuki H., Enatsu R., Kanno A., et al. Threshold and distribution of afterdischarges with electrical cortical stimulation. *J Clin Neurosci.* 2018; 55: 71–5. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.06.039>.
- Tatum W.O., McKay J.H., ReFaey K., et al. Detection of after-discharges during intraoperative functional brain mapping in awake brain tumor

В ретроспективном многоцентровом исследовании результатов стимуляционного картирования слухоречевых зон коры у 598 пациентов показано, что результаты в группе с более высокой силой стимула не коррелировали с данными других групп. Это, вероятно, обусловлено эффектом ложноположительного картирования за счет рефрактерного периода. Кроме того, авторами отражен факт отсутствия единого протокола речевого картирования, несмотря на многолетнее использование интраоперационной высокочастотной стимуляции ФЗЗ коры головного мозга [15].

Применение полимодального мониторинга с регистрацией ЭКОГ дало возможность адаптировать протокол стимуляции с учетом индивидуальных особенностей пациентов и завершить результативное картирование. Регистрация ПА в первом случае как иктального паттерна, а во втором – как феномена, отражающего достижения порога деполяризации с риском развития рефрактерного периода, позволила вовремя изменить параметры стимуляции и успешно локализовать ФЗЗ коры головного мозга, что повлияло на хирургическую тактику лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Постразрядная активность – электрокортикографический феномен, появление которого является основанием для изменения протокола высокочастотной стимуляции коры головного мозга при хирургическом лечении новообразований слухоречевых зон в условиях пробуждения. Накопленных данных литературы недостаточно для обоснования предикторов эволюции ПА в иктальный паттерн, что, скорее всего, связано с методическими ограничениями ЭКОГ.

surgery using a novel high-density circular grid. *Clin Neurophysiol.* 2020; 131 (4): 828–35. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.12.416>.

15. Lu J., Zhao Z., Zhang J., et al. Functional maps of direct electrical

stimulation-induced speech arrest and anomia: a multicentre retrospective study. *Brain.* 2021; 144 (8): 2541–53. <https://doi.org/10.1093/brain/awab125>.

REFERENCES:

1. Kalamangalam G.P., Tandon N., Slater J.D. Dynamic mechanisms underlying after-discharge: a human subdural recording study. *Clin Neurophysiol.* 2014; 125 (7): 1324–38. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.11.027>.
2. Blume W.T., Jones D.C., Pathak P. Properties of after-discharges from cortical electrical stimulation in focal epilepsies. *Clin Neurophysiol.* 2004; 115 (4): 982–9. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.11.023>.
3. Lasser R.P., Lee H.W., Webber W.R.S. Short-term variations in response distribution to cortical stimulation. *Brain.* 2008; 131 (Pt. 6): 1528–39 <https://doi.org/10.1093/brain/awn044>.
4. Trebuchon A., Guye M., Tcherniack V., et al. Interest of EEG recording during direct electrical stimulation for brain mapping function in surgery. *Ann Fr Anesth Reanim.* 2012; 31 (6): e87–90 (in French). <https://doi.org/10.1016/j.annfar.2012.04.010>.
5. Chang E.F., Breshears J.D., Raygor K.P., et al. Stereotactic probability and variability of speech arrest and anomia sites during stimulation mapping of the language dominant hemisphere. *J Neurosurg.* 2017; 126 (1): 114–21. <https://doi.org/10.3171/2015.10.JNS151087>.
6. Tate M.C., Herbet G., Moritz-Gasser S., et al. Probabilistic map of critical functional regions of the human cerebral cortex: Broca's area revisited. *Brain.* 2014; 137 (Pt. 10): 2773–82. <https://doi.org/10.1093/brain/awu168>.
7. Dragoy O., Chrabaszcz A., Tolkacheva V., Buklina S. Russian intraoperative naming test: a standardized tool to map noun and verb production during awake neurosurgeries. *Russian Journal of Cognitive Science.* 2016; 3 (4): 4–25 (in Russ.).
8. Lesser R.P., Lüders H., Klem G., et al. Cortical afterdischarge and functional response thresholds: results of intraoperative testing. *Epilepsia.* 1984; 25 (5): 615–21. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1984.tb03471.x>.
9. Gerin P. A new example of variation in the continuous amplitude of the elementary neuronal points: unitary behavior of some epileptic cortical discharges. *Rev Neurol (Paris).* 1960; 103: 209–16.
10. Pouratian N., Cannestra A.F., Bookheimer S.Y., et al. Variability of intraoperative electrocortical stimulation mapping parameters across and within individuals. *J Neurosurg.* 2004; 101 (3): 458–66. <https://doi.org/10.3171/jns.2004.101.3.0458>.
11. Hirsch L.J., LaRoche S.M., Gaspard N., et al. American Clinical Neurophysiology Society's standardized critical care EEG terminology: 2012 version. *J Clin Neurophysiol.* 2013; 30 (1): 27. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3182784729>.
12. Kalamangalam G.P., Slater J.D. Periodic lateralized epileptiform discharges and after-discharges: common dynamic mechanisms. *J Clin Neurophysiol.* 2015; 32 (4): 331–40. <https://doi.org/10.1097/NEP.0000000000000173>.
13. Suzuki H., Enatsu R., Kanno A., et al. Threshold and distribution of afterdischarges with electrical cortical stimulation. *J Clin Neurosci.* 2018; 55: 71–5. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.06.039>.
14. Tatum W.O., McKay J.H., ReFaey K., et al. Detection of after-discharges during intraoperative functional brain mapping in awake brain tumor surgery using a novel high-density circular grid. *Clin Neurophysiol.* 2020; 131 (4): 828–35. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.12.416>.
15. Lu J., Zhao Z., Zhang J., et al. Functional maps of direct electrical stimulation-induced speech arrest and anomia: a multicentre retrospective study. *Brain.* 2021; 144 (8): 2541–53. <https://doi.org/10.1093/brain/awab125>.

Сведения об авторах

Подгурская Мария Геннадьевна – врач-невролог, врач функциональной диагностики клиники «Медси» (Москва, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0102-1378>; РИНЦ SPIN-код: 9301-1652. E-mail: dr.maria.podgurskaya@gmail.com.

Каньшина Дарья Сергеевна – к.м.н., старший научный сотрудник отдела функциональной диагностики ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» ДЗМ (Москва, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>; Scopus Author ID: 57221390389; РИНЦ SPIN-код: 4032-4210.

Димерцев Алексей Владимирович – лаборант кафедры нейрохирургии, заведующий учебной частью кафедры нейрохирургии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (Москва, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-2205>; РИНЦ SPIN-код: 4989-0310.

Александров Михаил Всеволодович – д.м.н., профессор, заведующий отделением клинической нейрофизиологии, заведующий лабораторией клинических исследований в нейрохирургии и неврологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» (Санкт-Петербург, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9935-3249>; РИНЦ SPIN-код: 5452-8634.

Никитин Сергей Сергеевич – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой генетики неврологических болезней ФГБНУ «Медико-генетический научный центр им. академика Н.П. Бочкова» (Москва, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-2758>; РИНЦ SPIN-код: 4466-2944.

About the authors

Maria G. Podgurskaya – Neurologist, Functional Diagnostician, Medsi Clinic (Moscow, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0102-1378>; RSCI SPIN-code: 9301-1652. E-mail: dr.maria.podgurskaya@gmail.com.

Daria S. Kanchina – MD, PhD, Senior Researcher, Department of Functional Diagnostics, Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology (Moscow, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>; Scopus Author ID: 57221390389; RSCI SPIN-code: 4032-4210.

Aleksey V. Dimertsev – Laboratory Assistant, Department of Neurosurgery, Head of Educational Unit, Department of Neurosurgery, Pirogov National Medical and Surgical Center (Moscow, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-2205>; RSCI SPIN-code: 4989-0310.

Mikhail V. Alexandrov – Dr. Med. Sc., Professor, Head of Department of Clinical Neurophysiology, Head of Laboratory of Clinical Research in Neurosurgery and Neurology, Almazov National Medical Research Center (Saint Petersburg, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9935-3249>; RSCI SPIN-code: 5452-8634.

Sergey S. Nikitin – Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Genetics of Neurological Diseases, Bochkov Medical and Genetic Research Center (Moscow, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-2758>; RSCI SPIN-code: 4466-2944.