

УДК 616.853–072.7

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71349>

Научная статья



# ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОКОРТИКОГРАФИЯ: ВАРИАНТЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ ПРИ СТРУКТУРНОЙ ЭПИЛЕПСИИ

М.В. Александров<sup>1,2</sup>, И.А. Костенко<sup>1</sup>, В.С. Чёрный<sup>3</sup>, М.М. Тастанбеков<sup>1</sup><sup>1</sup> Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени проф. А.Л. Поленова, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup> Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

**Резюме.** На результаты интраоперационной электрокортикографии у больных со структурной эпилепсией оказывают влияние два основных фактора: действие общего анестетика и механизмы эпилептогенеза. При общей анестезии происходит дозозависимое угнетение биоэлектрической активности головного мозга вплоть до регистрации периодических паттернов по типу «вспышка-ослабление», «вспышка-подавление». Исследование выполнено с целью систематизации вариантов периодической активности, регистрируемой на интраоперационной электрокортикограмме у больных со структурной эпилепсией. Работа выполнена в ходе обследования и хирургического лечения двух групп больных: 1) 19 пациентов (10 мужчин, 9 женщин, возраст 19–45 лет) с фокальной фармакорезистентной эпилепсией; 2) 19 пациентов (8 мужчин, 11 женщин, возраст 28–68 лет) со структурной эпилепсией, ассоциированной с внутримозговыми опухолями. Всем больным было выполнено хирургическое удаление эпилептического очага под нейрофизиологическим контролем. Оперативные вмешательства проводились при ингаляционной анестезии севофлураном в дозах от 1 до 1,5 долей минимальной альвеолярной концентрации. Периодическая активность на интраоперационной электрокортикографии была представлена паттернами по типу «вспышка-подавление» и паттернами, содержащими эпилептиформные разрядные графоэлементы: «разряд-постразрядная депрессия», «вспышка-подавление» с разрядом на фоне депрессии, «малая электрическая продукция» с эпилептиформными разрядами. Наличие разрядных графоэлементов в периодических паттернах является нейрофизиологическим коррелятом фармакорезистентности при структурной эпилепсии.

**Ключевые слова:** биоэлектрическая активность головного мозга; электрокортикография; периодические паттерны; интраоперационный нейрофизиологический мониторинг; структурная эпилепсия; общая анестезия.

## Как цитировать:

Александров М.В., Костенко И.А., Чёрный В.С., Тастанбеков М.М. Интраоперационная электрокортикография: варианты периодических паттернов при структурной эпилепсии // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 4. С. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71349>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71349>

Scientific article

# INTRAOPERATIVE ELECTROCORTICOGRAPHY: VARIANTS OF PERIODIC PATTERNS IN THE STRUCTURAL EPILEPSY

M.V. Alexandrov<sup>1,2</sup>, I.A. Kostenko<sup>1</sup>, V.S. Cherniy<sup>3</sup>, M.M. Tastanbekov<sup>1</sup><sup>1</sup>Polenov Neurosurgical Research Institute, Saint Petersburg, Russia<sup>2</sup>Military Medical Academy named after S.M. Kirov Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia<sup>3</sup>All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine named after A.M. Nikiforov Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russia

**ABSTRACT:** The results of intraoperative electrocorticography for patients with the structural epilepsy are influenced by two main factors: the action of general anesthetic and the mechanisms of epileptogenesis. Under the general anesthesia, there is a dose-dependent suppression of the bioelectrical activity of the brain; you could even register the “outburst-diminution” and “outburst-suppression” types of the periodic patterns. The study was carried out to classify the variants of periodic activity registered on the intraoperative electrocorticogram for patients with a structural epilepsy. The work was carried out during the examination and surgical treatment of the two groups of patients: 1) 19 patients (men/women — 10/9, 19–45 years old) with focal drug-resistant epilepsy; 2) 19 patients (men/women — 8/11, 28–68 years old) with structural epilepsy associated with the intracerebral tumors. All patients underwent surgical removal of the epileptic focus under a neurophysiological control. Surgical interventions were performed under the sevoflurane-based inhalation anesthesia in doses from 1.0–1.5 MAC (minimum alveolar concentration). Periodic activity on intraoperative electrocorticography was represented with the “outburst-suppression” type of patterns and patterns containing epileptiform discharge graph elements: “discharge-postdischarge depression,” “outburst-suppression” with discharges against the background of depression, “small electrical elements” with epileptiform discharges. The presence of discharge graph elements in the periodic patterns has a neurophysiological correlation with a drug-resistance in the structural epilepsy.

**Keywords:** bioelectrical activity of the brain; electrocorticography; periodic patterns; intraoperative neurophysiological monitoring; structural epilepsy; general anesthesia.

**To cite this article:**

Alexandrov MV, Kostenko IA, Cherniy VS, Tastanbekov MM. Intraoperative electrocorticography: variants of periodic patterns in the structural epilepsy. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(4):39–46. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71349>

## ВВЕДЕНИЕ

Изменения биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга при общей анестезии отражают дозозависимое подавление механизмов биоэлектrogenеза: наблюдается снижение частоты («замедление») доминирующей активности с увеличением дозы анестетика [1, 2]. При относительно больших дозах анестетика регистрируются периодические паттерны по типу «вспышка-ослабление», «вспышка-подавление» или периодические разряды. Описанная динамика носит сходный характер как при регистрации суммарной электроэнцефалограммы (ЭЭГ), так и при выполнении интраоперационной электрокортикографии (ЭКоГ). Основным показателем к выполнению ЭКоГ в нейрохирургии является верификация эпилептического очага. Считается, что анализ ЭКоГ следует проводить при регистрации непрерывных паттернов активности. Однако при определенных условиях нейроанестезиологического обеспечения возникает необходимость использовать общие анестетики в дозах, вызывающих генерацию периодических паттернов. В таких условиях на генерацию БЭА оказывают влияние два фактора: действие общего анестетика и механизмы эпилептогенеза.

**Цель исследования** — систематизировать варианты периодической активности, регистрируемой на интраоперационной электрокортикограмме у больных со структурной эпилепсией.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена в ходе обследования и хирургического лечения 38 больных (17 мужчин, 21 женщина, возраст 19–62 лет, индекс массы тела < 35 кг/м<sup>2</sup>) со структурной эпилепсией, проходивших нейрохирургическое лечение в Российском научно-исследовательском нейрохирургическом институте им. проф. А.Л. Поленова в 2015–2020 гг.

В зависимости от вида хирургической патологии больные были разделены на две группы. В первую группу включены 19 больных (10 мужчин, 9 женщин, возраст 19–45 лет) с фокальной фармакорезистентной эпилепсией. Во вторую группу вошли 19 пациентов (мужчины/женщины 8/11, возраст 28–68 лет) со структурной эпилепсией, ассоциированной с внутримозговыми опухолями. Всем больным была выполнена костно-пластическая трепанация, хирургическое удаление эпилептического очага под нейрофизиологическим контролем. Оперативные вмешательства проводились при ингаляционной анестезии севофлураном в дозах от 1 до 1,5 долей минимальной альвеолярной концентрации (МАК). Высокотехнологичная операция выполнялась с проведением нейрофизиологического полимодального мониторинга, который включал регистрацию ЭКоГ для верификации эпилептического очага. Основным критерием включения наблюдений в исследование была

регистрация на ЭКоГ периодических паттернов активности: наличие эпизодов резкого ослабления сигнала (амплитуда менее 25 мкВ) длительностью более 0,5 с [3]. Паттерны по типу «выпадения» БЭА при близком расположении опухоли к коре в исследование не включались, поскольку отражали грубую деструкцию механизмов биоэлектrogenеза, а не действие общих анестетиков.

Таким образом, пациенты включались в исследование на основании следующих критериев: 1) структурная эпилепсия, 2) хирургическая резекция эпилептического очага, 3) ингаляционная анестезия севофлураном, 4) регистрация паттернов периодической активности на интраоперационной ЭКоГ.

При гистологическом исследовании операционного материала была использована классификация фокально-кортикальных дисплазий (ФКД): I тип — изолированные кортикальные нарушения, II тип — изолированные нарушения с наличием дисморфических нейронов, III тип — фокальная кортикальная дисплазия, ассоциированная с другим основным поражением — склерозом гиппокампа, опухолью, сосудистой мальформацией и др.

В зависимости от структурно-функциональной организации эпилептической системы больные первой группы были разделены на три подгруппы. В подгруппу 1.1 были включены 7 пациентов, у которых в эпилептическую систему были включены глубокие структуры головного мозга. В 5 случаях ФКД сочеталась с выраженными склеротическими изменениями в гиппокампальном комплексе (ФКД III типа), в одном наблюдении — с кавернозной мальформацией в области амигдаларного комплекса. В подгруппу 1.1 была включена больная с инсулярной эпилепсией. В подгруппу 1.2 вошли 6 человек, у которых эпилептогенное поражение не включало глубокие структуры головного мозга и ограничивалось преимущественно корой височной доли: ФКД I типа (два человека) и II типа (одно наблюдение), посттравматическая эпилепсия (одно наблюдение), кавернозная мальформация (одно наблюдение). В 6 наблюдениях, объединенных в подгруппу 1.3, выполнение предоперационных нейровизуализационных исследований (магнитно-резонансная томография с разрешением 3 Тл, позитронно-эмиссионная томография) не позволило установить эпилептогенное повреждение. На основе клинической картины и данных нейрофизиологических исследований больным была диагностирована фокальная идиопатическая фармакорезистентная эпилепсия.

Биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась на аппаратно-программном комплексе «Мицар-ЭЭГ-201» общества с ограниченной ответственностью «Мицар» (Россия). ЭКоГ регистрировалась биполярно электродными сетками 2 × 4 фирмы AdTech (Соединенные Штаты Америки) над доступными из операционного доступа областями коры мозга. Полоса пропускания от 0,5 до 45 Гц. Паттерн оценивался в биполярных отведениях.

Для оценки достоверности различий был использован критерий согласия  $\chi^2$  Пирсона. Статистическая обработка выполнялась в программной среде SPSS 17.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным критерием включения наблюдений в исследование была регистрация на интраоперационной ЭКоГ периодических паттернов БЗА, что отражало глубокое угнетение центральной нервной системы (ЦНС) при общей ингаляционной анестезии. Доза севофлюрана варьировала от 1 до 1,5 МАК. В данном диапазоне доз формирование паттерна периодической активности носит во многом вероятностный характер, что обусловлено индивидуальной чувствительностью к действию нейротропных веществ. В этой связи дозы общего анестетика (в долях МАК), при которых регистрировалась периодическая активность, в обследуемых группах не различались.

В группе больных со структурной эпилепсией, ассоциированной с внутримозговыми опухолями, у всех больных регистрировался периодический паттерн по типу «вспышка-подавление»: чередование эпох непрерывной активности с эпизодами резкого подавления сигнала до 20 мкВ и ниже. Длительность эпох подавления варьировала от 0,5 до 2–3 с (табл.).

При фармакорезистентной эпилепсии на интраоперационной ЭКоГ (рис. 1) наблюдалась вариабельность форм периодической активности. Регистрируемые варианты периодической активности в зависимости от сочетания графоэлементов могут быть описаны как следующие паттерны: 1) «вспышка-подавление»; 2) «разряд — постразрядная депрессия» — периодические эпизоды резкого подавления сигнала до 20 мкВ или меньше длительностью более 0,5 с, возникающие после эпилептиформного компонента по типу «высокоамплитудный пик» или «пик — медленная волна», завершающего непрерывный паттерн; 3) «вспышка-подавление» с высокоамплитудными эпилептиформными разрядами на фоне эпохи подавления; 4) периодические эпилептиформные

разряды на фоне паттерна «малой электрической продукции» (ослабление сигнала до 20 мкВ и ниже).

Регистрируемые при фармакорезистентной эпилепсии варианты периодического паттерна в основном определялись зоной коры, над которой выполнялась ЭКоГ. Паттерн по типу «вспышка-подавление», как правило, локализовался над отделами коры, не вовлеченными в эпилептическую систему. Периодические паттерны, содержащие разрядные графоэлементы, регистрировались в пределах эпилептического очага или вблизи скомпрометированных отделов коры. Так, например, при височной фармакорезистентной эпилепсии над полюсом височной доли могли регистрироваться чередующиеся паттерны по типу «разряд — постразрядная депрессия, «вспышка-подавление» с разрядами на фоне эпохи подавления, а над нижними отделами лобной доли, доступными из трепанационного дефекта, ЭКоГ могла быть представлена паттерном по типу «вспышка-подавление». В результате такого сочетания ЭКоГ больных, страдающих фармакорезистентной эпилепсией, была сформирована более чем одним паттерном.

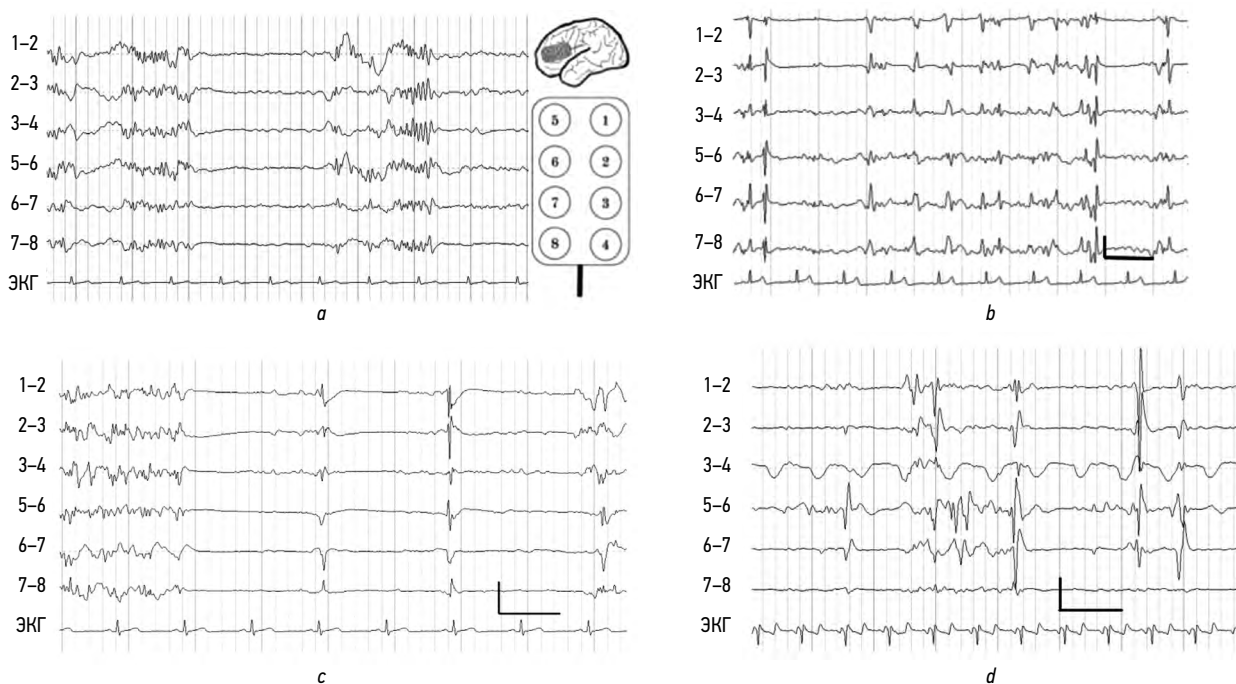
При структурной эпилепсии, ассоциированной с внутримозговыми опухолями, периодические паттерны с разрядными графоэлементами регистрировались только в 2 наблюдениях. Статистический анализ эмпирического распределения частот, с которыми регистрировались различные паттерны в обследованных группах, показал, что паттерны, содержащие разрядные формы активности специфичны для фармакорезистентной эпилепсии ( $p < 0,01$ ).

В группу больных, страдающих фармакорезистентной эпилепсией, были включены наблюдения, различавшиеся по структурно-функциональной организации эпилептической системы: изолированный конвекситальный корковый очаг, сочетание коркового поражения с очагом в глубоких структурах головного мозга (гиппокампадно-энториальный комплекс, островковая доля). Анализ частоты регистрации периодических паттернов показал, что при изолированных корковых поражениях регистрировались только 2 варианта паттернов:

**Таблица.** Варианты периодических паттернов, регистрируемые при разных формах структурной эпилепсии

**Table.** Variants of the periodic patterns recorded in different forms of structural epilepsy

Периодические паттерны	Структурная эпилепсия				
	ассоциированная с внутримозговой опухолью	всего	фокальная фармакорезистентная		
			вид эпилептической системы		
			кора + глубокие структуры	кора	идиопатическая
«Вспышка-подавление»	19	8	1	4	3
«Разряд — постразрядная депрессия»	0	11	4	5	2
«Вспышка-подавление» с разрядами на фоне депрессии	2	8	5	0	3
«Малая электрическая продукция» с разрядами	0	4	2	0	2
Критерий $\chi^2$ Пирсона	21, 971	( $p < 0,01$ )	8,659	( $p = 0,035$ )	–



**Рис. 1.** Периодические паттерны, регистрируемые на интраоперационной ЭКоГ: *a* — паттерн по типу «вспышка-подавление»; *b* — паттерн по типу «разряд — постразрядная депрессия»; *c* — паттерн «вспышка-подавление» с высокоамплитудными разрядами на фоне эпох подавления; *d* — периодические эпилептиформные разряды на фоне паттерна «малой электрической продукции». Схема расположения электродов на корковой грид-системе  $2 \times 4$  представлена в правой части первого рисунка. Схема коммутации электродов на всех рисунках одинакова. Калибровочный сигнал: амплитуда  $500 \mu\text{В}$ , длительность  $1 \text{ с}$

**Fig. 1.** Periodic patterns recorded on the intraoperative ECoG: *a* — “flash-suppression” pattern; *b* — pattern of the “discharge-postdischarge depression” type; *c* — “flash-suppression” pattern with high-amplitude discharges against the background of suppression epochs; *d* — periodic epileptiform discharges against the background of the “small electrical production” pattern. The layout of the electrodes on the  $2 \times 4$  cortical grid system is shown on the right side of the first figure. The electrode switching circuit is the same in all the figures. Calibration signal: amplitude  $500 \mu\text{V}$ , duration  $1 \text{ s}$

«вспышка-подавление» и «разряд — постразрядная депрессия». Периодические паттерны, содержащие разрядные формы на фоне эпох депрессии корковой активности, регистрировались только при включении в эпилептическую систему глубоких структур. Такой характер распределения частот регистрации паттернов в разных подгруппах больных, страдающих фармакорезистентной эпилепсией, достоверно ( $p < 0,05$ ) отличался от случайного распределения частот.

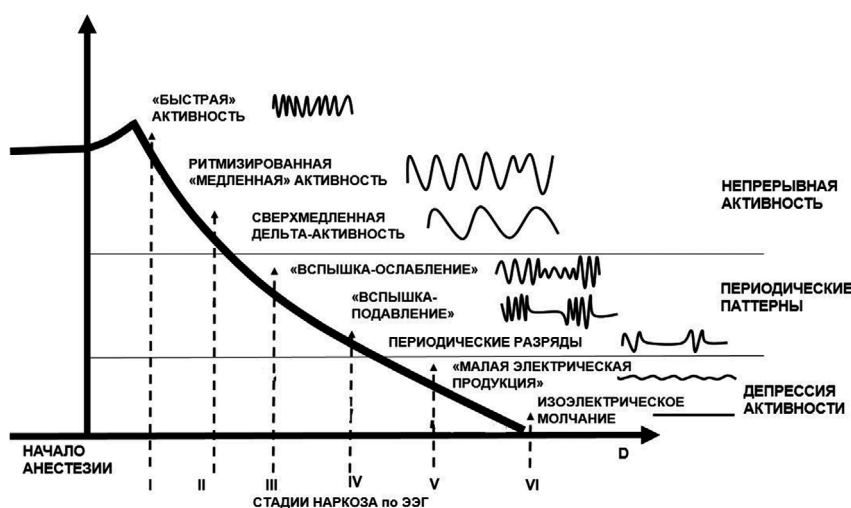
Таким образом, при глубоком наркозе на интраоперационной ЭКоГ регистрируются различные паттерны периодической активности. При структурной эпилепсии, ассоциированной с внутримозговыми опухолями, типичным является паттерн по типу «вспышка-подавление». Для фармакорезистентной эпилепсии характерен полиморфизм периодических паттернов: кроме паттерна «вспышка-подавление» могут регистрироваться другие варианты периодической активности, содержащие разрядные графоэлементы. Вид периодической активности во многом зависит от структурно-функциональной организации эпилептической системы. Вовлечение в эпилептический очаг глубоких структур мозга отражается на ЭКоГ разрядными формами активности на фоне эпизодов депрессии сигнала.

Изменения БЭА коры головного мозга при действии ингаляционных анестетиков характеризуются дозозависимым

стадийным угнетением (рис. 2). Условно весь континуум регистрируемых вариантов может быть разделен на три регистра: паттерны непрерывной активности, периодические паттерны и депрессия активности до «малой электрической продукции» или до полного изоэлектрического молчания.

Периодическими считают паттерны, сформированные чередованием эпох активности и пароксизмальных периодов глубокой депрессии сигнала: паттерны по типу «вспышка-ослабление», «вспышка-подавление» и периодические разряды [8, 10]. Существующие на данное время классификации периодических паттернов разработаны для описания ЭЭГ при острой церебральной недостаточности. При паттерне «вспышка-ослабление» регистрируются периоды резкого снижения амплитуды сигнала более чем в 2 раза. Тем не менее в такие периоды ослабления продолжает регистрироваться активность амплитудой выше  $10\text{--}20 \mu\text{В}$ . При более грубой депрессии амплитуда сигнала не превышает  $10 \mu\text{В}$ , что соответствует паттерну «вспышка-подавление». При сокращении длительности вспышки до  $0,5 \text{ с}$  и менее или при редукции вспышки до двух-трехфазной осцилляции паттерн описывается как «периодический разряд» [4].

Общепризнанных критериев для формализованного описания периодических паттернов, регистрируемых на интраоперационной ЭКоГ, не разработано. В наших



**Рис. 2.** Изменения биоэлектрической активности коры головного мозга при общей анестезии (схема)

**Fig. 2.** Changes in the bioelectric activity of the cerebral cortex during general anesthesia (diagram)

предыдущих работах [4, 5] были обоснованы и предложены следующие подходы. Процесс трансляции БЭА с коры на скальп не носит линейный характер, поскольку зависит от сочетания многих факторов: локализация источника и амплитуда активности, диэлектрические свойства покровных тканей и др. В самом общем виде в нейрофизиологии принимается допущение, что активность на ЭКоГ превосходит по амплитуде ЭЭГ в 7–10 раз. Но это допущение справедливо для непрерывной активности обычного уровня амплитуды. При подавлении общими анестетиками механизмов генерации БЭА до уровня «малой электрической продукции» амплитуда ЭКоГ превышает амплитуду ЭЭГ не более чем в 2–5 раз [4, 5]. Исходя из приведенных соотношений, очевидно, что уровень регистрируемой амплитуды на ЭЭГ и на ЭКоГ для констатации факта депрессии сигнала не может быть одинаковым. Для интраоперационной ЭКоГ, амплитуда которой составляет 100–500 мкВ, подавление сигнала до 20–25 мкВ уже может квалифицироваться как грубая депрессия активности. Таким образом, паттерн по типу «вспышка-подавление» на ЭКоГ может быть описан как периодический паттерн, представляющий собой чередование периодов активности длительностью более 0,5 с и частых (индекс более 10%) эпизодов пароксизмальной депрессии сигнала амплитудой менее 25 мкВ.

На интраоперационной ЭКоГ у больных со структурной эпилепсией, ассоциированной с внутримозговыми опухолями, над всеми доступными из трепанационного дефекта зонами коры регистрировались паттерны периодической активности по типу «вспышка-подавление» [6]. Периоды активности в паттерне «вспышка-подавление» были представлены полиморфными «вспышками», которые в ряде случаев имели «веретенообразную» форму. В работе А.М. Nuotari et al. [7] выдвинута гипотеза о сходстве механизмов генерации модулированных высокочастотных вспышек в структуре периодического паттерна и бета-веретен во вторую фазу медленного сна, что отражает сохранность физиологического взаимодействия таламо-кортикального

комплекса в условиях общей анестезии [8]. При исследовании БЭА коры при ингаляционной анестезии нами также наблюдался непостоянный «сквик»-эффект, что подтверждает концепцию единого таламического источника генерации всех видов веретенообразной активности в диапазоне альфа-тета-континуума от 4–5 до 14–16 Гц [9].

У больных, страдающих фармакорезистентной эпилепсией, на ЭКоГ регистрировались как типичные паттерны «вспышка-подавление», так и варианты периодической активности, содержащие эпилептиформные разрядные графоэлементы. Тип паттерна во многом зависел от места регистрации ЭКоГ. На относительном удалении от эпилептического очага регистрировались паттерны по типу «вспышка-подавление», а в его зоне — периодические паттерны с разрядными графоэлементами. В результате у некоторых больных, страдающих фармакорезистентной эпилепсией, регистрировались несколько вариантов периодических паттернов [10].

Анализ частоты регистрации периодических паттернов с эпилептиформными стигматами показал, что их вид зависит от структурно-функциональной организации эпилептической системы. Для изолированных корковых очагов характерным является наличие паттернов по типу «вспышка-подавление» и «разряд — постразрядная депрессия». Интраоперационная ЭКоГ в хирургии фармакорезистентной эпилепсии применяется для точной локализации эпилептического очага и верификации объема резекции в пределах «физиологической дозволенности» [11]. Считается, что оптимальный уровень общей анестезии для данного исследования отражается регистрацией непрерывной активности на ЭКоГ. В этой связи при регистрации периодических паттернов на ЭКоГ концентрация севофлюрана временно снижалась, если условия анестезиологического обеспечения позволяли это делать. В результате происходило восстановление непрерывного паттерна активности. В тех случаях, когда при высоких дозах анестетика регистрировался паттерн

по типу «разряд — постразрядная депрессия», при восстановлении непрерывной активности морфология разрядного элемента практически полностью сохранялась, а постразрядная депрессия не регистрировалась [3].

Для сложных эпилептических систем, включавших не только корковые зоны, но и глубокие структуры мозга, были характерны паттерны «малой электрической продукции» с разрядами и паттерны по типу «вспышка-подавление» с разрядами на фоне депрессии сигнала. В пользу вовлечения глубоких структур в генерацию таких паттернов свидетельствуют результаты пострезекционной ЭКоГ. В тех случаях, когда полное удаление глубоких структур, входящих в систему эпилептического очага, не представлялось возможным, на пострезекционной ЭКоГ продолжали сохраняться разрядные графоэлементы. Их морфология мало отличалась от тех элементов, которые регистрировались на пререзекционной ЭКоГ в структуре периодического паттерна.

В клинической ЭЭГ для описания паттерна, сформированного периодическими одиночными осцилляциями на фоне глубокой депрессии сигнала, используется термин «периодические разряды». Однако этот паттерн отражает практически терминальный распад механизмов генерации БЗА головного мозга [12]. По нашему мнению, зарегистрированные на ЭКоГ паттерны эпилептиформных разрядов на фоне «малой электрической продукции» отражают интерференцию депримирующего действия общего анестетика и механизмов эпилептогенеза. К тому же регистрация такого паттерна не является «злокачественным» феноменом: все изменения, регистрируемые на интраоперационной ЭКоГ, обратимы.

Формирование периодических паттернов на ЭКоГ при действии общих анестетиков в эффективных дозах носит вероятностный характер, что отражает индивидуальную перекрестную толерантность к нейротропным агентам. В настоящем исследовании это отразилось в эквивалентных уровнях доз, вызывавших депрессию ЭКоГ как в группе больных со структурной опухоль-ассоциированной эпилепсией, так и в группе фармакорезистентной эпилепсией. Феномен фармакорезистентности нашел свое отражение в генерации разрядных форм активности в структуре периодического паттерна. Эпилептиформная активность при фармакорезистентной эпилепсии не была полностью редуцирована действием ингаляционного анестетика, что наблюдалось в группе симптоматической структурной эпилепсии. Вероятно, относительно высокая толерантность

патологической системы фармакорезистентной эпилепсии отражает длительный период существования устойчивой эпилептической системы и вовлечение в ее структуру не только корковых отделов, но и глубоких структур мозга. При эпилепсии, ассоциированной с внутримозговыми опухолями, катамнез редко превышает один год и эпилептогенное повреждение относительно локально. Согласно общим нейрофизиологическим закономерностям, резистентность нейрональных структур, в том числе к действию ксенобиотиков, в ЦНС увеличивается «сверху вниз». Молодая кора височных, лобных долей по толерантности существенно уступает древней коре гиппокампа и коре островковой доли. В результате периодические паттерны, регистрируемые при фармакорезистентной эпилепсии, генерируются двумя источниками: вспышками активности коры и эпилептиформными разрядами глубоких структур, сохраняющими активность ввиду более высокой их толерантности к действию анестетиков.

## ВЫВОДЫ

1. Периодическая активность на интраоперационной ЭКоГ может быть представлена паттернами по типу «вспышка-подавление» и паттернами, содержащими эпилептиформные разрядные графоэлементы: «разряд — постразрядная депрессия», «вспышка-подавление» с разрядом на фоне депрессии, «малая электрическая продукция» с эпилептиформными разрядами.

2. При длительном течении структурной фармакорезистентной эпилепсии формирование периодических паттернов с разрядными графоэлементами отражает интерференцию депримирующего действия общего анестетика и механизмов эпилептогенеза.

3. Сочетание эпизодов депрессии и разрядных графоэлементов в периодическом паттерне зависит от структурно-функциональной организации эпилептической системы.

4. Наличие разрядных графоэлементов в периодических паттернах на ЭКоГ при общей анестезии севофлюраном, вероятно, является нейрофизиологическим коррелятом фармакорезистентности при структурной эпилепсии.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания по науке «Сопряжение нейрофизиологических и патоморфологических механизмов формирования патологической системы структурной эпилепсии» (рег. № АААА-А19-119070490032-0)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский Б.В., Ефуни С.Н. Лечебный наркоз. Москва: Медицина, 1967.
2. Stockard J., Bickford R. The neurophysiology of anesthesia. A basis and practice of neuroanesthesia. Gordon E., editor. New York: Excerpta Medica, 1981. P. 3–50.
3. Александров М.В., Костенко И.А., Архипова Н.Б., и др. Подавление биоэлектрической активности головного мозга при

общей анестезии: зависимость «доза-эффект» // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2018. Т. 20, № 4. С. 79–85. DOI:10.17816/brmma12279

4. Hirsch J., LaRoche S.M., Gaspard N., et al. American Clinical Neurophysiology Society's Standardized Critical Care EEG Terminology: 2012 version // J Clin Neurophysiol. 2013. No. 1. P. 1–27. DOI:10.1055/A-1304-8038

5. Abramov K., Ulitin A., Borovikova V., et al. Coherent analysis of interconnections in the drug-resistant multifocal epilepsy pathologic system [abstract] // *Epilepsia*. 2016. Vol. 57, S2. P. 79. DOI: 10.1111/epi.13609
6. Михайлов А.Ю., Березина И.Ю., Сумский Л.И., Арзуматов Ю.Л. К вопросу об электроэнцефалографическом феномене «вспышка-подавление»: варианты исходов и возможные нейрофизиологические механизмы // *Медицинский алфавит*. 2021. № 5. С. 42–49. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-5-42-49
7. Huotari A.M., Koskinen M., Suominen K., et al. Evoked EEG patterns during burst suppression with propofol // *British Journal of Anaesthesia*. 2004. Vol. 92, No. 1. P. 18–24. DOI:10.1093/bja/ae022
8. Steriade M., Amzica F., Contreras D. Cortical and thalamic correlates of electroencephalographic burst-suppression //

- Electroencephalog Clin Neurophysiol*. 1994. No. 90. P. 1–16. DOI: 10.1016/0013-4694(94)90108-2
9. Hughes S.W., Crunelli V. Thalamic Mechanisms of EEG Alpha Rhythms and Their Pathological Implications // *Neuroscientist*. 2005. Vol. 11, No. 4. P. 357–372. DOI:10.1177/1073858405277450
10. Александров М.В., Улитин А.Ю. Интраоперационная электрокортикография: возможности и перспективы // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2012. № 4. С. 245–254.
11. Simon M.V. Intraoperative Neurophysiologic Sensorimotor Mapping-A Review // *J Neurol Neurophysiol*. 2011. No. 3. P. 3–17. DOI: 10.4172/2155-9562.S3-002
12. Sonkajarvi E., Rytty S., Alahuhta S., et al. Epileptiform and periodic EEG activities induced by rapid sevoflurane anaesthesia induction // *J Clin Neurophysiol*. 2018. Vol. 129, No. 3. P. 638–645. DOI:10.1016/j.clinph.2017.12.037

## REFERENCES

1. Petrovskii BV, Efuni SN. *Lechebnyi narcoz*. Moscow: Meditsina; 1967. (In Russ.).
2. Stockard J, Bickford R. *The neurophysiology of anesthesia. A basis and practice of neuroanesthesia*. Gordon E, editor. New York: Excerpta Medica; 1981. P. 3–50.
3. Aleksandrov MV, Kostenko IA, Arkhipova NB, et al. Suppression of brain electrical activity in general anesthesia: the dose-effect relationship. *Bulleten of the military medical academy*. 2018;20(4):79–85. (In Russ.). DOI:10.17816/brmma12279
4. Hirsch J, LaRoche SM, Gaspard N, et al. American Clinical Neurophysiology Society's Standardized Critical Care EEG Terminology: 2012 version. *J Clin Neurophysiol*. 2013;(1):1–27. DOI:10.1055/A-1304-8038
5. Abramov K., Ulitin A., Borovikova V., et al. Coherent analysis of interconnections in the drug-resistant multifocal epilepsy pathologic system [abstract]. *Epilepsia*. 2016;57(S2):79. DOI: 10.1111/epi.13609
6. Mikhailov AYu, Berezina IYu, Sumsky LI, Arzumanov YuL. On the issue of the electroencephalographic phenomenon "burst-suppression": variants of outcomes and possible neurophysiological mechanisms. *Medical alphabet*. 2021;(5):42–49. (In Russ.). DOI: 10.33667/2078-5631-2021-5-42-49
7. Huotari AM, Koskinen M, Suominen K, et al. Evoked EEG patterns during burst suppression with propofol. *British Journal of Anaesthesia*. 2004;92(1):18–24. DOI: 10.1093/bja/ae022
8. Steriade M, Amzica F, Contreras D. Cortical and thalamic correlates of electroencephalographic burst-suppression. *Electroencephalog. Clin Neurophysiol*. 1994;(90):1–16. DOI: 10.1016/0013-4694(94)90108-2
9. Hughes SW, Crunelli V. Thalamic Mechanisms of EEG Alpha Rhythms and Their Pathological Implications. *Neuroscientist*. 2005;11(4):357–372. DOI:10.1177/1073858405277450
10. Aleksandrov MV, Ulitin AYu. Intraoperative electrocortigraphy: possibilities and prospects. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2012;(4):245–254. (In Russ.).
11. Simon MV. Intraoperative Neurophysiologic Sensorimotor Mapping-A Review. *J Neurol Neurophysiol*. 2011;(3):3–17. DOI: 10.4172/2155-9562.S3-002
12. Sonkajarvi E, Rytty S, Alahuhta S, et al. Epileptiform and periodic EEG activities induced by rapid sevoflurane anaesthesia induction. *J Clin Neurophysiol*. 2018;129(3):638–645. DOI:10.1016/j.clinph.2017.12.037

## ОБ АВТОРАХ

\***Михаил Всеволодович Александров**, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: mdoktor@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9935-3249; SPIN-код: 5452-8634

**Ирина Александровна Костенко**, врач функциональной диагностики; e-mail: vdmv\_irin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-9527-8309; SPIN-код: 4507-5097

**Валерий Станиславович Черный**, доктор медицинских наук, доцент; e-mail: 9297911@list.ru; ORCID: 0000-0002-9791-8242; SPIN-код: 5302-7224

**Малик Маратович Тастанбеков**, доктор медицинских наук; e-mail: Tastanbekov\_MM@almazovcentre.ru; ORCID:0000-0003-3675-9302; SPIN-код: 1822-0196

## AUTHORS INFO

\***Mikhail V. Aleksandrov**, doctor of medical sciences, professor; e-mail: mdoktor@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9935-3249; SPIN code: 5452-8634

**Irina A. Kostenko**, doctor of functional diagnostics; e-mail: vdmv\_irin@mail.ru; ORCID: 0000-0002-9527-8309; SPIN code: 4507-5097

**Valeriy S. Cherniy**, MD, doctor of medical sciences, professor; e-mail: 9297911@list.ru; ORCID: 0000-0002-9791-8242; SPIN code: 5302-7224

**Malik M. Tastanbekov**, doctor of medical sciences; e-mail: Tastanbekov\_MM@almazovcentre.ru; ORCID:0000-0003-3675-9302; SPIN code: 1822-0196

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author