

Характеристика биоэлектрической активности гиппокампального комплекса при фармакорезистентной мезиальной эпилепсии

С. Э. Васина¹, М. М. Тастанбеков¹, А. М. Александров², А. А. Чухловин¹, Г. В. Одинцова¹, М. В. Александров^{1, 3}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

² Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», Санкт-Петербург

³ Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

При дискордантности клинических, нейровизуализационных данных и результатов видео-ЭЭГ-мониторинга при планировании объема хирургического лечения фармакорезистентной мезиальной эпилепсии может выполняться экстраоперационный инвазивный мониторинг биоэлектрической активности коры и гиппокампального комплекса. Поиск дополнительной информации о функциональном состоянии гиппокампа может быть направлен на анализ его фоновой активности.

Цель исследования: дать характеристику амплитудно-частотных параметров биоэлектрической активности гиппокампа при мезиальной височной эпилепсии.

Материалы и методы. Основу исследования составил анализ амплитудно-частотных параметров фоновой активности гиппокампальных комплексов (21 трек), выполненный при обследовании и хирургическом лечении 17 пациентов (9 мужчин и 8 женщин, средний возраст 31,5 год) с фармакорезистентной височной мезиальной эпилепсией. Выполнен анализ исходов селективной амигдало-гиппокампотомии через два года у 7 больных.

Результаты. Интериктальная фоновая биоэлектрическая активность структурно измененных гиппокампальных комплексов характеризуется доминированием медленноволновой активности. По мощности активности гиппокампальные треки были разделены на две группы: 1) активность высокой амплитуды, отражающая процесс эпилептогенеза, 2) активность низкой амплитуды, отражающая «выгорание» структурно-измененного гиппокампа. Анализ исходов селективной амигдало-гиппокампотомии показал, что благоприятные исходы достоверно чаще наблюдались при деструкции эпилептизированных гиппокампов.

Выводы. Выделенные варианты паттернов могут рассматриваться как нейрофизиологические корреляты патогенетических механизмов, лежащих в основе фармакорезистентной мезиальной эпилепсии. Гиппокампальные комплексы с высокоамплитудной фоновой активностью являются патологическими генераторами, которые теряются при «выгорании» активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: клиническая нейрофизиология, экстраоперационный нейрофизиологический мониторинг, биоэлектрическая активность головного мозга, электросубкортикаграфия, фармакорезистентная эпилепсия, склероз гиппокампа.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Characteristics of bioelectric activity in hippocampal region in drug-resistant mesial epilepsy

S. E. Vasina¹, M. M. Tastanbekov¹, A. M. Aleksandrov², A. A. Chukhlovin¹, G. V. Odintsova¹, M. V. Aleksandrov^{1, 3}

¹ Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation;

² St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russian Federation;

³ S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation

SUMMARY

Extraoperative invasive EEG-monitoring of bioelectric activity in cortical region and hippocampal complex may be performed in cases of discrepancy between clinical data, results of neurovisualization, and EEG-monitoring patterns when scheduling volume of surgical treatment in drug-resistant mesial epilepsy. A search for supplementary information about functional state of hippocampus may be directed to evaluation of its background bioelectric activity. **The aim of our study** was to characterize amplitude and frequency parameters of hippocampal bioelectric activity in mesial temporal epilepsies.

Materials and methods. The study included analysis of amplitude and frequency parameters of background activity from the hippocampal complexes (21 tracks) performed during examination and surgical treatment of 17 patients (9 males and 8 females at the mean age of 31.5 years old) diagnosed with drug-resistant temporal mesial epilepsy. The two-year outcomes of selective amygdalae/hippocampotomy in 7 patients were analyzed.

Results. The interictal background bioelectric activity of structurally altered hippocampal complexes is characterized by dominating slow-wave activity. By their capacity, the hippocampal tracks may be classified in two groups: 1) high-amplitude activity reflecting the process of epileptogenesis; 2) low-amplitude activity which suggests a "burnout" of structurally impaired hippocampus. Analysis of clinical outcomes following amygdalae/hippocampotomy has shown that the favorable outcomes were significantly more frequent upon destruction of epileptized hippocampus. **Conclusions.** The specified variants of EEG-patterns may be regarded as neurophysiological correlates of pathogenetic mechanisms underlying the drug-resistant mesial epilepsy. Hippocampal complexes with high-amplitude background activity represent pathological generators which are lost upon "burnout" of their activity.

KEYWORDS: clinical neurophysiology, extraoperative neurophysiological monitoring, bioelectrical activity of the brain, electro-subcorticography, drug-resistant epilepsy, hippocampal sclerosis, mesial, pharmacoresistant, EEG monitoring.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Височная эпилепсия является распространенной формой заболевания как у детей, так и у взрослых, составляя до 60% фокальных эпилепсий [1, 2]. Височная мезиальная эпилепсия — локализационно-обусловленная форма эпилепсии, при которой верифицируется структурный дефект в пределах височной доли, который определяет патогенез заболевания [3]. Считается, что одной из наиболее частых причин развития височной эпилепсии является мезиальный височный склероз [3, 4, 5]. Тем не менее, следует признать, что патогенетическая роль склероза гиппокампа при височной мезиальной эпилепсии остается одной из нерешенных проблем эпилептологии [3, 4, 5, 6]. Методами нейровизуализации констатируется наличие структурных или метаболических нарушений в гиппокампально-энториальном комплексе, но не оценивается степень его вовлечения в эпилептическую систему [4, 7, 8, 9].

Косвенно оценить организацию эпилептической системы в большинстве случаев позволяют результаты электроэнцефалографического мониторинга, совмещенного с видеорегистрацией состояния больного (видео-ЭЭГ-мониторинг). Однако устойчивый очаг интериктальной эпилептиформной активности в височных отведениях, ипсилатеральных структурному поражению, регистрируется лишь в 60–80% [4, 10]. В остальных случаях регистрируются различные варианты ЭЭГ, не позволяющие локализовать эпилептический очаг: широкая зона ирритации со смещением во фронтальные отведения, вторичная билатеральная синхронизация, система «зеркальных» очагов или двух независимых очагов со сменой доминирования [4].

Локализация эпилептического очага имеет принципиальное значение для хирургического лечения фармакорезистентных форм мезиальной эпилепсии [6, 11]. При дискордантности клинических, нейровизуализационных данных и результатов видео-ЭЭГ-мониторинга может выполняться экстраоперационный инвазивный мониторинг биоэлектрической активности коры и гиппокампального комплекса [11]. Допустимая длительность инвазивного мониторинга не всегда позволяет зарегистрировать 2–3 совпадающих по зоне начала иктальных события и надежно локализовать эпилептогенную зону. Интериктальная эпилептиформная активность, регистрируемая при инвазивном мониторинге с различных отделов коры и с глубоких структур мозга, может отражать распространение активности из других отделов, расположенных вне установленных электродных систем. В этой связи поиск дополнительной информации о функциональном состоянии гиппокампа может быть направлен на анализ его фоновой активности. В литературе анализ амплитудно-частотных параметров биоэлектрической активности гиппокампального комплекса мозга человека практически не представлен. В основном констатируется наличие эпилептиформной активности при структурных изменениях гиппокампа [12].

Цель исследования: дать характеристику амплитудно-частотных параметров биоэлектрической активности гиппокампа при мезиальной височной эпилепсии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основу исследования составил анализ результатов обследования и хирургического лечения пациентов с фармакорезистентной мезиальной формой височной эпилепсии в клинике РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова) в период с 2017 по 2020 гг. В обследуемую группу вошли 17 пациентов (9 мужчин и 8 женщин) в возрасте от 26,5 до 37 лет (медиана 31,5 год). Длительность заболевания составила от 14 до 29 лет.

Критериями включения больных в исследование были следующие: 1) мезиальная височная эпилепсия с фармакорезистентным течением, 2) наличие структурных изменений в гиппокампальном комплексе, выявляемых по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ), 3) регистрация паттерна «замедления» при экстраоперационном инвазивном мониторинге активности гиппокампального комплекса [13], 4) высокотехнологичное оперативное нейрохирургическое лечение с нейрофизиологическим контролем, 5) возможность оценки исхода хирургического лечения через два года.

Нейрофизиологическое прехирургическое обследование всех больных, включенных в исследование, состояло из двух этапов. На первом этапе выполнялся многосубъектный электроэнцефалографический мониторинг, совмещенный с видеорегистрацией клинической картины (видео-ЭЭГ-мониторинг). По результатам видео-ЭЭГ-мониторинга не представлялось возможным достоверно локализовать эпилептический очаг, что стало основанием для выполнения инвазивного мониторинга биоэлектрической активности коры и глубоких структур мозга.

Экстраоперационный мониторинг включал в себя регистрацию скальповой ЭЭГ, инвазивный мониторинг активности скомпрометированных областей коры головного мозга, локализация которых была определена по предварительным данным видео-ЭЭГ мониторинга, а также регистрацию активности гиппокампального комплекса (экстраоперационная электросубкортикаграфия — ЭСубКоГ). Регистрация электрокортикограммы (ЭКоГ) выполнялась восьмиконтактными (2x4) электродными сетками, 4-х, 6-ти контактными стрип-электродами (AdTech, США). ЭСубКоГ выполнялась с использованием инвазивных 4-х контактных глубинных электродов типа Spenser (AdTech, США), установленных стереотаксически в области гиппокампального комплекса.

У 4 пациентов были установлены глубинные электроды с двух сторон, у остальных только со стороны поражения гиппокампального комплекса по данным нейровизуализации. Всего были зарегистрированы и проанализированы амплитудно-частотные параметры 21 гиппокампального трека. Длительность инвазивного мониторинга составила от 48 до 96 ч.

В рамках высокотехнологичных нейрохирургических операций выполнялся интраоперационный полимодальный нейрофизиологический мониторинг, который включал регистрацию ЭЭГ, ЭКоГ и ЭСубКоГ.

Регистрация БЭА на всех этапах проводилась на аппаратно-программном комплексе «Мицар-ЭЭГ-201»

(ООО «Мицар», Россия). ЭЭГ регистрировалась в стандартных отведениях по международной системе «10–20». Полоса пропускания: фильтр нижних частот 0,5 Гц, фильтр высоких частот 70 Гц.

Анализ амплитудно-частотных параметров биоэлектрической активности гиппокампального комплекса выполнялся при соблюдении следующих условий: 1) пассивное бодрствование, 2) глаза закрыты, 3) сенсорная депривация [13]. Для расчета спектров мощности активности гиппокампальных комплексов выбирались стабильные, безартефактные эпохи длительностью 120 сек. Выделялись стандартные диапазоны частот: дельта (1–4 Гц), тета (4–7 Гц), альфа (7–14 Гц), бета (14–35 Гц). Амплитуда активности оценивалась как среднее значение амплитуды сигнала, измеренное «от пика до пика», за эпоху 5 с, не содержащую эпилептиформные графоэлементы. Рассчитывалось среднее значение для 10 эпох анализа. Индекс эпилептиформной активности (Iepi) определялся как относительная доля (%) времени, в течении которого регистрировались эпилептиформные графоэлементы за эпоху анализа 120 с.

Количественный анализ БЭА выполнялся с помощью программного обеспечения Data Studio (ООО «Мицар»).

Восьми пациентам была выполнена радиочастотная селективная амигдало-гиппокампотомия (САГТ), восьми пациентам была выполнена блок резекция передних 2/3 височной доли с резекцией передних отделов гиппокампа, одному пациенту была выполнена передняя темпоральная лобэктомия.

Исходы хирургического лечения фармакорезистентной мезиальной височной эпилепсии оценивались через два года после операции по критериям ILAE (2017 г.) [3]. Шкала включает шесть классов: 1) полное отсутствие приступов, 2) наличие только аур, 3) не более трех дней с приступами за 1 год, 4) увеличение частоты дней с при-

ступами до 50%, 5) увеличение частоты дней с приступами от 50 до 100%, 6) увеличение частоты дней с приступами более, чем на 100%.

Статистическая обработка данных была выполнена в программе Statistica 10 (StatSoft, Inc). Статистическая значимость различий амплитудно-частотных параметров проверялась по критерию Манна-Уитни. Численные данные представлены медианой, первым и третьим квартилями (Me (Q1, Q3)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из поставленной цели в исследование были включены больные с клинической картиной фармакорезистентной мезиальной эпилепсией. У всех больных при выполнении МРТ (3 Тл) выявлены структурные изменения в гиппокампальном комплексе.

При проведении видео-ЭЭГ мониторинга в обследуемой группе зарегистрированы паттерны активности отражали сложную структурно-функциональную организацию эпилептической системы: широкая зона ирритации, вторичная билатеральная синхронизация, наличие «зеркальных» очагов и независимых очагов. Регистрация иктальных событий не позволяла однозначно локализовать зону начала приступа. При данной ЭЭГ-семиотике не представлялось возможным инвариантно локализовать эпилептический очаг, что стало показанием к выполнению экстраоперационного инвазивного мониторинга биоэлектрической активности [6, 11].

Экстраоперационный мониторинг включал регистрацию активности скомпрометированных областей коры головного мозга и гиппокампального комплекса.

Как было показано в наших предыдущих работах, отличительной особенностью паттернов биоэлектрической активности при наличии склероза гиппокампа является доминирование медленноволновой активности дельта-диапазона [13, 14].

Как было показано в наших предыдущих работах, при выполнении экстраоперационного мониторинга биоэлектрической активности структурно измененного гиппокампа регистрируется паттерн «замедления», сформированный медленноволновой дельта-активностью [13, 14]. Паттерн сохранного гиппокампа, в котором не выявляются признаки структурных нарушений на МРТ, формируется ритмизированной активностью альфа и тета диапазонов. Типичный пример вариантов активности сохранного и структурно измененного гиппокампального комплекса представлен на рисунке 1.

В настоящее исследование был включен 21 гиппокампальный трек с паттернами «замедления» активности (табл. 1). В зависимости от амплитуды фоновой активности

Рисунок 1. Паттерны активности гиппокампальных комплексов при фармакорезистентной мезиальной эпилепсии: паттерн «замедления» при явных МРТ-признаках склероза гиппокампа (Hd, справа), альфа-тета-паттерн сохранного гиппокампа (Hs, слева). Треки: Td — кора правой височной доли, Ts — кора левой височной доли, Hd — правый гиппокамп, Hs — левый гиппокамп, ECG — электрокардиограмма. Амплитуда калибровочного сигнала 300 мкВ, скорость развертки 30 мм/с

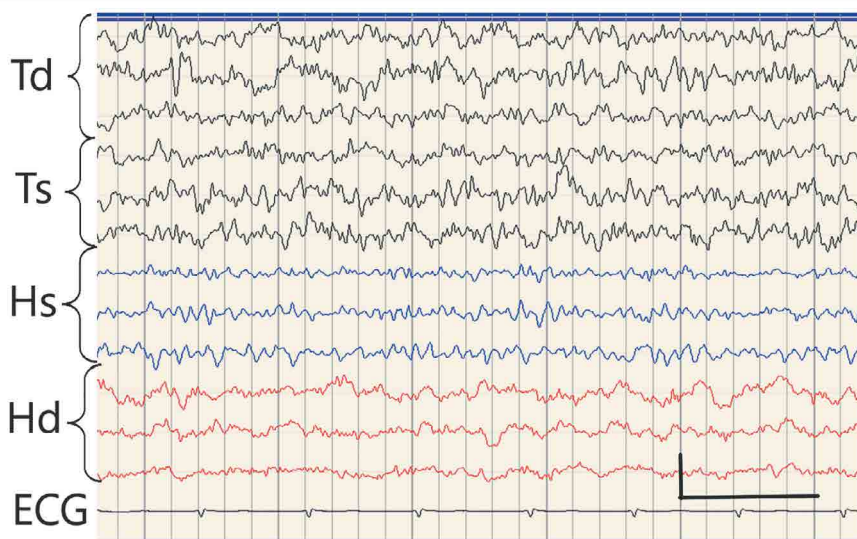


Таблица 1
Характеристика паттернов активности гиппокампального комплекса при разных вариантах его вовлечения в эпилептическую систему

Амплитудно-частотные параметры	Варианты активности гиппокампа		U* (p)
	Эпилептизированный	«Выгоревший»	
Спектральный состав (%):			
Дельта	52 (47; 56)	48,5 (44; 56)	23,5 (<0,05)
Тета	22 (20;26)	26 (24; 29)	24,5 (<0,05)
Альфа	20 (16; 25)	22 (17; 25)	37,5 (>0,05)
Бета	3 (1; 5)	2 (1; 3)	36,5 (>0,05)
Амплитуда, мкВ	265 (230; 280)	66 (45; 72)	1 (<0,05)
Іері, %	46 (35; 62)	21 (15; 27)	1 (<0,05)

Примечание: * — критическое значение (Uкр) составляет 26 для достоверности различий менее 0,05.

структурно измененные гиппокампальные комплексы уверенно разделялись на две группы. Для одной группы (11 треков) была характерна фоновая активность высокой и очень высокой амплитуды (150–300 мкВ), а также наличие регулярной эпилептиформной активности среднего и высокого индекса. Регистрация регулярной интериктальной активности, высокая амплитуда фонового паттерна позволили обозначить данную группу треков как эпилептизированные. Во второй группе гиппокампальные треки (n=10) отличались низкоамплитудной фоновой активностью (40–80 мкВ). Эпилептиформные графоэлементы регистрировались с низким и средним индексом. Низкая амплитуда фоновой активности, относительно невысокий индекс эпилептиформной активности позволили условно обозначить данную группу гиппокампов как «выгоревшие».

Варианты гиппокампальных треков с паттернами «замедления», регистрируемые при мезиальной эпилепсии, представлены на рисунке 2. В приведенном клиническом наблюдении по результатам МРТ в обоих гиппокампальных комплексах были выявлены признаки склероза. Для выполнения экстраоперационного инвазивного мониторинга в оба гиппокампальных комплекса стереотаксически были установлены глубинные электроды. В правом гиппокампе (Hd) была зарегистрирована активность амплитудой 30–50 мкВ, которая может быть описана как паттерн «выгоревшего» гиппокампа. Паттерн активности левого гиппокампа (Hs) формировался острыми волнами тета (5–6 Гц) и дельта (2–3 Гц) диапазона амплитудой 150–200 мкВ. Регистрация высокоамплитудной активности, сформированной волнами «острой формы», а также наличие других эпилептиформных стигматов позволили обозначить данный паттерн как эпилептизированный.

Нами была выдвинута гипотеза о том, что эпилептизированный гиппокамп является патологическим генератором в эпилептической системе

и, следовательно, его деструкция делает возможным избавление больного от приступов после оперативного лечения. Для проверки данной гипотезы был проведен анализ исходов САГТ. Данный вид операции был выбран, поскольку деструкции подвергается только гиппокампальный комплекс, остальные структуры височной доли остаются полностью интактны [6, 15].

В подгруппу вошли 7 больных, которым было показано хирургическое лечение фармакорезистентной мезиальной эпилепсии. В 4 наблюдениях регистрировался паттерн эпилептизированного гиппокампа, в 3 — «выгоревшего». Анализ исходов САГТ показал (табл. 2), что удаление эпилептизированного гиппокампа достоверно чаще приводит к положительному исходу хирургического лечения фармакорезистентной мезиальной эпилепсии (p< 0.05; U = 1).

Таким образом, полученные результаты позволяют считать, что гиппокамп с высокоамплитудным паттерном активности входит в эпилептическую систему как патологический генератор, поскольку деструкция таких гиппокампально-амигдалярных комплексов приводит к благоприятным исходам хирургического лечения фармакорезистентной эпилепсии. Структурно-измененный

Рисунок 2. Фоновая биоэлектрическая активность гиппокампальных комплексов при МРТ-признаках выраженных структурных изменений: паттерн «выгоревшего» гиппокампа (Hd, справа), паттерн эпилептизированного гиппокампа (Hs, слева). Треки: Td — кора правой височной доли, Ts — кора левой височной доли, Hd — правый гиппокамп, Hs — левый гиппокамп, ECG — электрокардиограмма. Амплитуда калибровочного сигнала 300 мкВ, скорость развертки 30 мм/с



Таблица 2
Исходы селективной амигдалогиппокампотомии при различных паттернах биоэлектрической активности гиппокампа

Паттерн активности гиппокампа	Исход САГП по ILAE, абс.					
	1	2	3	4	5	6
Эпилептизированный	1	1	1	1	-	-
«Выгоревший»	-	-	-	2	1	-

гиппокамп, демонстрирующий паттерн «выгоревший», вероятно, также вовлекается в эпилептическую систему, но свойствами патологического генератора не обладает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Паттерны биоэлектрической активности гиппокампа в состоянии спокойного бодрствования у больных с височной мезиальной эпилепсией могут быть описаны следующими тремя вариантами: альфа-тета-паттерн сохранного гиппокампа, паттерн эпилептизированного гиппокампа и паттерн «выгорания» (рис. 3).

Паттерн сохранного гиппокампа, в котором не выявляются признаки структурных нарушений на МРТ, формируется ритмизированной активностью альфа и тета диапазонов [13, 14]. Однако, отсутствие МРТ-признаков склероза гиппокампа не всегда является достаточным условием для регистрации ритмизированной альфа-тета-активности. Активность гиппокампальных комплексов без признаков склероза может быть сформирована медленными волнами, что отражает процесс эпилептизации. Вероятно, тяжесть структурных нарушений в таком гиппокампальном комплексе еще не достигает уровня, достаточного для визуализации на МРТ в режиме 3 Тл.

Интериктальная фоновая биоэлектрическая активность структурно измененных гиппокампальных комплексов характеризуется доминированием медленноволновой активности дельта и тета диапазонов частот. По мощности активности структурно измененные гиппокампы не являются однородными. Могут быть выделены, по крайней мере, два варианта, значимо различающиеся по амплитуде фоновой активности. Первый вариант гиппокампальных паттернов, условно обозначенный как эпилептизированный, формируется активностью высокой и очень высокой амплитуды. Второй вариант характеризуется наличием полиморфной активности низкой амплитуды, что позволило предположить «выгорание» структурно измененных гиппокампальных комплексов при длительном течении фармакорезистентной мезиальной эпилепсии.

Анализ исходов селективной деструкции амигдалогиппокампального комплекса показал, что выделенные паттерны могут рассматриваться как нейрофизиологические корреляты различных патогенетических механизмов, лежащих в основе фармакорезистентной мезиальной эпилепсии [16]. Гиппокампальные комплексы с высокоамплитудной фоновой активностью являются патологическими генераторами, детерминирующими организацию эпилептической системы. При «выгорании» активности

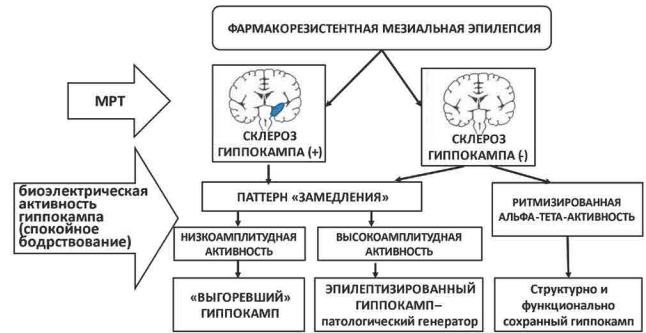


Рисунок 3. Характеристика фоновой биоэлектрической активности гиппокампального комплекса при фармакорезистентной височной мезиальной эпилепсии (схема)

гиппокампальный комплекс теряет свойства патологического генератора, принимая пассивное участие в процессах распространения эпилептиформной активности.

Список литературы / References

1. Epilepsy: a public health imperative World Health Organization.: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy> (20 June, 2019).
2. Thijs RD, Surges R, O'Brien TJ, Sander JW. Epilepsy in adults. Lancet. 2019; 393 (10172): 689-701. [https://doi.org/10.1016/S0140-736\(18\)32596-0](https://doi.org/10.1016/S0140-736(18)32596-0)
3. Неврология: национальное руководство / под ред. Е. И. Гусева, А. Н. Коновалова, В. И. Скворцовой. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. — С. 414-415. Neurology: national guide / ed. E. I. Guseva, A. N. Konovalova, V. I. Skvortsova — second edition — М.: GEOTAR-Media, 2018. — С. 414-415.
4. Мухин К.Ю., Гатаулина С.Х., Петрухин А.С. Палеокортикальная височная эпилепсия, обусловленная мезиальным височным склерозом: клиника, диагностика и лечение (обзор литературы). Русский журнал детской неврологии. 2008; 11 (3): 41-60. Mukhin K.Yu., Gataullina S.H., Petrukhin A.S. Paleocortical Temporal Lobe Epilepsy With Hippocampal Sclerosis: Clinical Features, Diagnosis And Treatment (A Review). Russian Journal of Pediatric Neurology. 2008; 11 (3): 41-60
5. Janmohamed, M., Brodie M.J., Kwan P. Pharmacoresistance: Epidemiology, mechanisms, and impact on epilepsy treatment. Neuropharmacology. 2020; 168: 107-119.
6. Крылов В.В.: Хирургия эпилепсии / Под редакцией В.В. Крылова. — М., 2019. — 408 с. Krylov V.V.: Epilepsy Surgery / Edited by V.V. Krylov — М., 2019. — 408 с. (in Russian).
7. Куралбаев А.К., Забродская Ю.М., Иванова Н.Е. и др., Патоморфологические изменения гиппокампа при височной эпилепсии. Литературный обзор. Российский нейрохирургический журнал им. профессора Поленова. 2017; 9(2): 72-77. Kuralbaev AK, Zabrodskaya YuM, Ivanova NE et al. Pathomorphological changes in the hippocampus with temporal lobe epilepsy. Literature review: Russian Neurosurgical J named after Prof Polenov. 2017;9(2):72-77 (in Russian).
8. Granados Sánchez AM, Orejuela Zapata JF. Hippocampal sclerosis: volumetric evaluation of the substructures of the hippocampus by magnetic resonance imaging. Radiologia. 2018; 60 (5): 404-412.
9. Muhlhofer W., Tan Y. L., Mueller S. G., Knowlton R. MRI-negative temporal lobe epilepsy — What do we know? Epilepsia. 2017. 58 (5): 727-742.
10. Прокудин М.Ю., Базилевич А.М., Моисеева А.М. Информативность ЭЭГ-видеомониторинга у больных с эпилепсией. Известия Российской Военно-медицинской академии. 2020; 2 (39): 132-135. Prokudin M.Yu., Bazilevich S.N., Moiseeva A.M., Murzakanova D.A., Dyskin D.E. Informative value of EEG Video Monitoring in patients with epilepsy. Russian Medical Military Academy Reports. 2020; 2 (39): 132-135. (in Russian).
11. Александров М.В., Чикуров А.А., Топоркова О.А. и др. Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг в нейрохирургии: руководство. — 2-е изд. / под ред. М.В. Александрова. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. — 159 с. Alexandrov M.V., Chikurov A.A., Toporkova O.A. and other Neurophysiological intraoperative monitoring in neurosurgery: a guide. — 2nd ed. / ed. M.V. Alexandrova. — St. Petersburg: SpetsLit, 2020. — 159 p. (in Russian).
12. Сумский Л. И., Березина Н.Ю. Электрическая активность новой коры и гиппокампа у больных с фармакорезистентной формой височной эпилепсией // Материалы XIII съезда Физиологического общества им. И. П. Павлова, Воронеж. 2017. — С. 592-593. Sumsky L.I., Berезina N.Yu. Electrical activity of the neocortex and hippocampus in patients with drug-resistant form of temporal lobe epilepsy // Proceedings of the XXIII Congress of the Physiological Society. I. P. Pavlova, Voronezh, 2017. — С. 592-593. (in Russian).
13. Астахова Е.А., Черенкова С.Э., Марченко Е.В., Себелев К.И., Александров М.В. Взаимотношение биоэлектрической активности и структурных изменений в гиппокампе при височной фармакорезистентной эпилепсии. Трансляционная медицина. 2021;8(2):5-13. Astakhova EA, Cherenkova SE, Marchenko EV et al., The relationship of bioelectric activity and structural changes in the hippocampus at pharmacoresistant temporal lobe epilepsy. Translational Medicine 2021;8(2):5-13 (in Russian). <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2021-8-2-5-13>

14. Черенкова С.Э., Тастанбеков М.М., Назаров Р.В., Александров М.В. Мониторинг биоэлектрической активности гиппокампального комплекса: действие ингаляционных анестетиков как функциональная проба. *Медицинский алфавит*. 2021;(28):16–22.
Cherenkova S.E., Tastanbekov M.M., Nazarov R.V., Aleksandrov M.V. Bioelectric activity monitoring of the hippocampal complex: action of inhalation anesthetics as a functional sample. *Medical alphabet*. 2021;(28):16–22. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-28-16-22> (in Russian).
15. Quigg M, Harden C. Minimally invasive techniques for epilepsy surgery: stereotactic radiosurgery and other technologies. *J Neurosurg*. 2014;121 Suppl:232–240. PMID: 25434958 <https://doi.org/10.3171/2014.8.GKS141608>
16. Александров М.В., Улитин А.Ю., Берснев В.П., и др. Структурно-функциональная организация эпилептического очага. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.П. Поленова*. 2017; 9 (2): 5–9.
Aleksandrov M.V., Ulitin A.Yu., Pavlovskaya M.E., Bersnev V.P., Abramov K.B., Arkhipova N.B. Structural and functional organisation of epileptic focus. *Russian Neurosurgical Journal named after professor A.L. Polenov*. 2017; 9 (2): 5–9. (in Russian).

Информация об авторах

Васина С.Э., врач-невролог отделения клинической нейрофизиологии¹
Тастанбеков М.М., д.м.н., руководитель нейрохирургического отделения № 61. SPIN-код: 1822–0196. <https://orcid.org/0000-0003-3675-9302>
Александров А.М., клинический ординатор кафедры нервных болезней²
Чухловин А.А., к.м.н., заведующий лабораторией нейрофизиологического мониторинга отделения клинической нейрофизиологии¹ SPIN-код: 3222–8999; <https://orcid.org/0000-0003-2840-3365>
Одинцова Г.В., к.м.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эпилептологии¹. SPIN 1303–4651; <https://orcid.org/0000-0002-7186-0054>
Александров М.В., д.м.н. проф., зав. отделом клинической нейрофизиологии¹, заведующий кафедрой нормальной физиологии³. SPIN 5452–8634, <https://orcid.org/0000-0002-9935-3249>

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

² Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Автор для переписки: Александров Михаил Всеволодович
E-mail: mdoktor@yandex.ru

Author information

Vasina S.E., Neurologist of the Department of Clinical Neurophysiology¹
Tastanbekov M.M., MD, PhD, head of the Neurosurgical Department No. 61. SPIN-код: 1822–0196, <https://orcid.org/0000-0003-3675-9302>
Aleksandrov A.M., Clinical Resident, Department of Nervous Diseases²
Chukhlovin A.A. MD, Head of the Laboratory of Neurophysiological Monitoring¹, Russia. SPIN-код: 3222–8999 <https://orcid.org/0000-0003-2840-3365>
Odintsova G.V., chief researcher, head of Epilepsy Research Laboratory¹, SPIN 1303–4651 <https://orcid.org/0000-0002-7186-0054>
Aleksandrov M.V., MD, PhD, Professor, head of Clinical Neurophysiology Department¹, head of Normal Physiology Department³. SPIN 5452–8634, <https://orcid.org/0000-0002-9935-3249>

¹ Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation;

² St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russian Federation;

³ S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Aleksandrov M.V.
E-mail: mdoktor@yandex.ru

Статья поступила / Received 01.04.2023
 Получена после рецензирования / Revised 02.04.2023
 Принята в печать / Accepted 02.04.2023

Для цитирования: Васина С.Э., Тастанбеков М.М., Александров А.М., Чухловин А.А., Одинцова Г.В., Александров М.В. Характеристика биоэлектрической активности гиппокампального комплекса при фармакорезистентной мезиальной эпилепсии. *Медицинский алфавит*. 2023;(15):18–23. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-18-23>

For citation: Vasina S.E., Tastanbekov M.M., Aleksandrov A.M., Chukhlovin A.A., Odintsova G.V., Aleksandrov M.V. Characteristics of bioelectric activity in hippocampal region in drug-resistant mesial epilepsy. *Medical alphabet*. 2023;(15):18–23. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-18-23>

