

Л.Р.Зенков

**КЛИНИЧЕСКАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ
(С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭПИЛЕПТОЛОГИИ)**

Руководство для врачей

10-е издание



Москва
«МЕДпресс-информ»
2023

УДК 616.8-072.7(035)

ББК 56.12

3-56

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Рецензент: В.В.Гнездицкий, доктор биологических наук, профессор, руководитель лаборатории клинической нейрофизиологии ФГБНУ «Научный центр неврологии», председатель секции клинической электроэнцефалографии при Московском нейрофизиологическом обществе, вице-президент Ассоциации клинических нейрофизиологов России

Зенков, Леонид Ростиславович.

3-56 Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей / Л.Р.Зенков. — 10-е изд. — М. : МЕДпресс-информ, 2023. — 360 с.

ISBN 978-5-907504-83-7

В книге в систематизированном виде представлены нейрофизиологические и биологические основы электроэнцефалографии, методология анализа ЭЭГ и электроэнцефалографическая семиотика. Излагаются принципы клинической интерпретации ЭЭГ при неврологических и других заболеваниях мозга. Большое место уделено эпилепсии и специальным аспектам ее диагностики, включая ЭЭГ-видеомониторинг и компьютерные методы оценки риска и решения вопросов терапии. Изложены основные методы и принципы клинического применения компьютерной ЭЭГ.

Для клинических нейрофизиологов, неврологов, психиатров, врачей функциональной диагностики, студентов, аспирантов и специалистов, занимающихся функциями мозга.

УДК 616.8-072.7(035)

ББК 56.12

ISBN 978-5-907504-83-7

© Зенков Л.Р., 2004, 2011

© Оформление, оригинал-макет, иллюстрации.

«МЕДпресс-информ», 2011

© Обложка НПКФ «Медиком ЛТД», 1996

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	8
Глава 1. Основы метода	11
Глава 2. Техника и методика электроэнцефалографии	18
2.1. Аппаратура для электроэнцефалографических исследований	18
2.2. Отведение и запись ЭЭГ	25
2.3. Общие методические принципы исследования и функциональные пробы	38
Глава 3. Принципы анализа ЭЭГ и электроэнцефалографическая семиотика	41
3.1. Артефакты на ЭЭГ и их устранение	41
3.2. Электроэнцефалографическая семиотика	47
3.2.1. Ритмы ЭЭГ взрослого бодрствующего человека	50
3.2.2. Виды активности, патологические для взрослого бодрствующего человека	53
3.3. Нормальная ЭЭГ взрослого бодрствующего человека	62
3.4. ЭЭГ и уровни функциональной активности мозга	66
3.4.1. Изменения ЭЭГ в цикле бодрствование-сон	66
3.4.2. ЭЭГ при наркозе	74
3.4.3. ЭЭГ при коматозном состоянии	75
3.5. Возрастные изменения ЭЭГ	79
3.6. Общие принципы клинической интерпретации ЭЭГ при неврологической патологии	87
3.6.1. Общие положения	87
3.6.2. Диффузное поражение мозга	90
3.6.3. Поражение срединных структур мозга	91
3.6.3.1. Поражение ствола мозга	95
3.6.3.2. Поражение срединных структур полушарий	97
3.6.4. Поражение в глубине полушария	100
3.6.5. Поверхностное расположение фокуса поражения	102
3.7. Принципы формулирования клинико-электроэнцефалографического заключения	104
3.7.1. Систематика клинико-электроэнцефалографических заключений — «ЭЭГ-Тезаурус»	105
Система классификации клинических заключений по электроэнцефалографии «ЭЭГ-Тезаурус»	108
Глава 4. Изменения ЭЭГ при основных заболеваниях центральной нервной системы .	115
4.1. Эпилепсия	115
4.1.1. Диагностика эпилепсии	116
4.1.1.1. Дифференциальная диагностика эпилептических и неэпилептических припадков	127
4.1.2. Тип припадков, локализация эпилептического фокуса, классификация эпилепсии	137

4.1.3. Эпилептологическая электроэнцефалография	173
4.1.3.1. Процессоры и архивирование данных	174
4.1.3.2. Программное обеспечение	175
4.1.3.2.1. Формулирование электроэнцефалографического «Заключения»	176
4.1.3.2.2. Система оценки риска, диагноза, лечения, прогноза и профилактики эпилепсии «Эпидавр»	177
4.1.3.2.3. ЭЭГ-видеомониторинг	177
4.1.4. Отслеживание динамики заболевания, корректировка терапии, прогноз	182
4.2. Опухоли мозга	190
4.3. Сосудистые заболевания	193
4.4. Черепно-мозговая травма	196
4.5. Воспалительные заболевания мозга	197
4.6. ЭЭГ при дегенеративных и дизонтогенетических заболеваниях	206
4.7. ЭЭГ при дисфункциональных и психиатрических нарушениях	210
Глава 5. Компьютерная электроэнцефалография	214
5.1. Клинические аспекты компьютерной электроэнцефалографии	214
5.1.1. Общая характеристика задач КЭЭГ	214
5.1.2. Техничко-методические аспекты КЭЭГ	215
5.2. Компьютерные методы анализа ЭЭГ в клинической нейрофизиологии .	216
5.2.1. Общая характеристика задач клинической нейрофизиологии	216
5.2.2. Клинические аспекты применения КЭЭГ к анализу «спонтанной» ЭЭГ	218
5.2.2.1. Основные задачи клинической оценки «спонтанной» ЭЭГ .	218
5.2.2.2. Методы распознавания образов в электроэнцефалографии .	219
5.2.2.3. Методы определения спектральной мощности в клинической КЭЭГ	223
5.3. Карты электрической активности мозга как материал для визуальной клинической диагностики	227
5.3.1. Картирование спектральной мощности ЭЭГ (КСМЭЭГ)	227
5.3.1.1. Амплитудное картирование ЭЭГ (КАЭЭГ)	233
5.3.1.2. Трехмерная локализация источников «спонтанной» ЭЭГ (3-МЛИЭЭГ)	234
Приложение 1. Терминологический справочник по клинической электроэнцефалографии	243
Приложение 2. Пересмотренная классификация эпилепсий и эпилептических синдромов. От Комиссии по классификации и терминологии Международной противоэпилептической лиги (1989)	267
Приложение 3. Словарь терминов, употребляемых при компьютерном анализе ЭЭГ	269
Приложение 4. Практическое применение компьютерной электроэнцефалографии	281
Заключение	344
Список литературы	345

Памяти Р.Л.Зенкова



**Зенков Леонид
Ростиславович**

В то время как готовилось новое издание книги «Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии», ее автор — известный ученый, ведущий специалист нашей страны в области клинической нейрофизиологии и эпилептологии Леонид Ростиславович Зенков скоропостижно скончался после непродолжительной болезни на 74-м году жизни. Это случилось 26 февраля 2012 г., в Прощеное воскресенье накануне Великого поста.

Леонид Ростиславович родился 10 сентября 1938 г. в семье московских интеллигентов. Его отец, Ростислав Леонидович, работал профессором Всесоюзного заочного политехнического института (ныне Московский государственный открытый университет им. В.С.Черномырдина), был автором большого числа изобретений в области тяжелого машиностроения. Мать, Екатерина Владимировна, работала врачом-хирургом, во время эвакуации в годы Великой Отечественной войны выполняла функции земского врача, лечила и оперировала больных, принимала роды. По окончании средней школы Леонид Ростиславович поступил в I Московский медицинский институт им. И.М.Сеченова. Во время учебы на старших курсах принимал активное участие в работе студенческого неврологического кружка. По окончании института в 1963 г. продолжил обучение в клинической ординатуре в клинике нервных болезней, где познакомился с заведующим лабораторией функциональной диагностики Михаилом Аркадьевичем Ронкиным и заинтересовался нейрофизиологическими исследованиями. В 1965 г. Леонид Ростиславович был зачислен в штат лаборатории М.А.Ронкина в качестве заведующего кабинетом, затем был назначен на должности младшего, старшего, ведущего, а с 1991 г. — главного научного сотрудника лаборатории.

Леонид Ростиславович владел практически всеми нейрофизиологическими методами на уровне эксперта. С начала трудовой и научной деятельности он активно занимался ЭЭГ и эхоэнцефалографией, его кандидатская диссертация была посвящена использованию эхоэнцефалографии в нейрохирургической практике. В 1960-х годах, до появления компьютерной нейровизуализации, эти методы играли важную роль в диагностике внутричерепной патологии. В 1970-х годах Леонид Ростиславович первым в нашей стране

начал экспериментальные работы по внедрению в неврологическую практику метода вызванных потенциалов мозга. Результаты этих работ легли в основу его докторской диссертации «Центральные механизмы афферентации у человека в норме и при неврологической патологии», успешно защищенной в 1977 г. Широкий круг вопросов неврологии, интересовавших Леонида Ростиславовича на протяжении почти 50 лет его трудовой деятельности, в последние два десятилетия сконцентрировался на проблемах патогенеза, диагностики и лечения эпилепсии.

В своей научной и практической деятельности Леонид Ростиславович неустанно занимался разработкой и внедрением в практику новых нейрофизиологических методов диагностики. Он является автором 330 научных работ, 11 изобретений, разработчиком компьютеризированных программ и устройств для ЭЭГ, вызванных потенциалов, ЭМГ и ЭЭГ-видеомониторинга. В области эпилептологии Леонид Ростиславович известен исследованиями фармакорезистентной эпилепсии, непароксизмальных эпилептических расстройств и эпилептических энцефалопатий. Результаты его работы заслужили широкое признание в мире. Он являлся действительным членом Академии медико-технических наук РФ, Нью-Йоркской академии наук, Европейской академии эпилепсии (EUREPA), членом президиума Ассоциации клинических нейрофизиологов России, членом Бюро Российской противозепилептической лиги, экспертом Европейской комиссии по эпилептологии, клинической нейрофизиологии и экспертным системам, экспертом Комиссии Совета Европы по исследованиям и технологическому развитию.

Неоценим педагогический талант Леонида Ростиславовича, он был превосходным лектором, автором обширных дидактических трудов, являлся организатором ежегодных международных, всероссийских и региональных школ-семинаров и конференций по функциональной диагностике и эпилептологии, подготовил десятки практических специалистов по клинической нейрофизиологии и эпилептологии. Написанные им монографии переиздавались по нескольку раз. Под его руководством защищено 11 кандидатских и 2 докторские диссертации. Его выступления и лекции, с которыми он объездил полмира, неизменно отличались яркостью и неформальным подходом к теме.

Как опытный врач-эпилептолог Леонид Ростиславович помог многим больным, к нему на консультацию направляли самых сложных пациентов; с большой гордостью он рассказывал о помощи детям с такими расстройствами, как синдром Веста, синдром Ландау—Клеффнера, неконтролируемые эпилептические приступы. Он первый в нашей стране применил кетогенную диету для лечения фармакорезистентной эпилепсии.

Леонид Ростиславович отличался большой эрудицией, знал несколько иностранных языков, имел широкий круг интересов, активно использовал каждую минуту своего времени. Ходил только быстрым шагом или почти бегом. На работе часто оставался до позднего вечера. В свободное время активно путешествовал, причем в разные места — в Сибирь, на Белое море, на гору Афон и т.д.; ходил на байдарках, ездил на вездеходе. Те, кто встречался с ним, поражались его острому уму и осведомленности по самым разным вопросам: от искусствоведения и иконографии до математических и физических формул.

Кипучая жизнь Леонида Ростиславовича оборвалась неожиданно, фатальная болезнь настигла его в момент, когда он был полон творческих планов и спешил на работу. Это скорбное событие потрясло всех, кто знал Леонида Ростиславовича. Мы всегда с благодарностью будем помнить нашего учителя, друга, коллегу и замечательного человека.

*Сотрудники отделения функциональной диагностики
по нейрофизиологии клиники нервных болезней
им. А.Я.Кожевникова Первого МГМУ им. И.М.Сеченова*

Предисловие

Электроэнцефалография является одним из основных методов объективного тестирования функций нервной системы, что мотивирует постоянный спрос на соответствующую литературу. Конец XX столетия характеризовался внедрением в неврологическую диагностику методов нейровизуализации: компьютерной рентгеновской томографии, ядерно-магнито-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии и др., решивших в основном задачу диагностики путем прямого изображения органических структурных морфологических и частично дизметаболических расстройств. Одновременно, вопреки голосам о закате электроэнцефалографии, наблюдается почти революционная активизация исследований в области электроэнцефалографии с качественным и количественным совершенствованием аппаратуры и методов анализа, расширением диапазона применения метода на все более широкие области диагностики, появляются сотни публикаций, демонстрирующих рост возможностей метода. Следует признать, что клиническая электроэнцефалография как метод содержит в себе элемент парадоксальности. Являясь почти идеальным методом прямого отображения **функционирования** ЦНС, она на протяжении более 3/4 века решает вопросы диагностики **органических** поражений мозга. Можно с удовлетворением констатировать, что нейровизуализационные методы в основном успешно отняли у электроэнцефалографии эти несвойственные ей и, следует признать, в существенной мере плохо решаемые ею задачи. Это же одновременно высветило и более четко определило круг клинических задач, которые может решить только электроэнцефалография — это диагностика функциональной активности ЦНС — то главное, что характеризует живой мозг человека в норме и при неврологической патологии.

После периода начальной эйфории относительно всемогущества нейровизуализационных методов, включая «функциональный нейроимиджинг» — ПЭТ и СПЭКТ, стало ясно, что в большом числе случаев они оказываются недостаточно чувствительными и специфичными, особенно на начальных стадиях заболеваний или при преобладании метаболических нарушений над структурно-морфологическими как при некоторых формах склерозирующих и некротизирующих энцефалитов, дегенеративных и динамических ишемических нарушениях. Совершенно очевиден статус электроэнцефалографии как в полной мере незаменимого метода в эпилептологии. Следует только вспомнить, что электроэнцефалографические критерии диагностики входят неотъемлемой частью в определение эпилепсии как заболевания и в названия и определения многочисленных форм эпилепсии. На современном этапе её роль в этой области становится значительно более ответственной в отношении диагностики, классификации форм эпилепсии

и припадков, принятии решения о лечении и выборе оптимального препарата, учитывая быстро расширяющийся спектр противоэпилептических лекарств и, одновременно, все возрастающее количество свидетельств того, что сами они иногда оказываются вреднее заболевания.

Чрезвычайно возрос удельный вес электроэнцефалографических исследований в области так называемых «функциональных» расстройств: невротических, психических, эмоциональных, поведенческих и когнитивных нарушений, психо-соматических заболеваний. Эта новая и важная роль электроэнцефалографии не могла быть реализована без использования количественных компьютерных методов обработки, анализа и представления данных. Их внедрение во все области техники и методики электроэнцефалографии привело к появлению принципиально нового аппаратно-методического подхода — **компьютерной электроэнцефалографии**, что выводит методику на принципиально новый уровень, который, следует признать, клиническая электроэнцефалография в настоящее время еще не способна освоить во всей полноте в силу необходимости разработки принципиально нового диагностического подхода.

В соответствии с Рекомендацией Международной Федерации Обществ электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии, которые определяют в качестве медицинского документа «Заклочение», сделанное электроэнцефалографом на основе визуального анализа «сырой» электроэнцефалограммы (ЭЭГ), в основу изложения, как и ранее, положены традиционные методы регистрации, анализа, описания и интерпретации ЭЭГ. Однако, в связи с изменившимся удельным весом различных областей электроэнцефалографии значительно расширен отдел, посвященный эпилепсии, куда включены элементы эпилептологии, без знания которых невозможно полноценное использование электроэнцефалографии на современном уровне.

Существенную часть книги составляет Глава 5, посвященная компьютерной электроэнцефалографии. В этой главе, а также в соответствующих параграфах других разделов книги освещены не только методические вопросы компьютерной электроэнцефалографии, но и новые области применения электроэнцефалографии: функциональной диагностики невротических, психиатрических, метаболических заболеваний, использования ЭЭГ для оценки риска заболеваний, прогноза, определения эффективности лекарственных препаратов, экспертизы.

В настоящем третьем издании «Клинической электроэнцефалографии» введено уточнение параметров некоторых графоэлементов семиотики ЭЭГ, параметров и динамики основных феноменов и волновых диапазонов ЭЭГ развивающегося мозга, проведено уточнение данных ЭЭГ при некоторых формах эпилепсии. Соответственно возрастающему удельному весу эпилепсии в электроэнцефалографической диагностике, более подробно дан раздел эпилептологической электроэнцефалографии, включая метод ЭЭГ-видеомониторинга (синхронизированной с ЭЭГ видеозаписи пациента), освещены вопросы влияния противосудорожной фармакотерапии на ЭЭГ и, частично аспекты аппаратно-программного обеспечения соответствующих клинико-электроэнцефалографических эпилептологических задач.

Книга является плодом продолжавшегося на протяжении четырех десятилетий сотрудничества и контактов с многочисленными специалистами учеными и практиками в области применения электроэнцефалографии в клинической неврологии, дискуссии с которыми (нередко сопряженные с жесткой критикой) формировали концептуальные подходы автора. Всем им автор глубоко благодарен. Из их числа считаю долгом особо поблагодарить М.А.Ронкина, П.В.Мельничука, Л.П.Латаша, М.Н.Фишман, В.А.Карлова, Т.С.Степанову, Е.А.Жирмунскую, Л.И.Сумского, В.В.Гнездицкого, Н.К.Благосклонову, П.А.Константинова. Особую благодарность выражаю сотрудникам Межклинической лаборатории функциональной диагностики по нейрофизиологии и Кафедры нервных болезней Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова И.М.Максименко, С.В.Успенской, Н.Е.Архиповой, Г.Г.Торопиной, Н.П.Хроменко, Л.Э.Клишевской за помощь в работе над книгой. Выражаю благодарность сотруднику Московского центра психического здоровья детей и подростков И.М.Арефьеву за участие в подготовке иллюстративного материала к разделу, посвященному ЭЭГ сна.

Глава 1

ОСНОВЫ МЕТОДА

Электроэнцефалография — метод исследования головного мозга, основанный на регистрации его электрических потенциалов. Первая публикация о наличии токов в центральной нервной системе была сделана Du Bois Reymond в 1849 г. В 1875 г. данные о наличии спонтанной и вызванной электрической активности в мозге собаки были получены независимо R. Caton в Англии и В.Я.Данилевским в России. Исследования отечественных нейрофизиологов на протяжении конца XIX и начала XX века внесли существенный вклад в разработку основ электроэнцефалографии. В.Я.Данилевский не только показал возможность регистрации электрической активности мозга, но и подчеркивал ее тесную связь с нейрофизиологическими процессами. В 1912 г. П.Ю.Кауфман выявил связь электрических потенциалов мозга с «внутренней деятельностью мозга» и их зависимость от изменения метаболизма мозга, воздействия внешних раздражений, наркоза и эпилептического припадка. Подробное описание электрических потенциалов мозга собаки с определением их основных параметров было дано в 1913 и 1925 гг. В.В.Правдич-Неминским.

Австрийский психиатр Ганс Бергер в 1928 г. впервые осуществил регистрацию электрических потенциалов головного мозга у человека, используя скальповые игольчатые электроды (Berger H., 1928, 1932). В его же работах были описаны основные ритмы ЭЭГ и их изменения при функциональных пробах и патологических изменениях в мозге. Большое влияние на развитие метода оказали публикации G.Walter (1936) о значении ЭЭГ в диагностике опухолей мозга, а также работы F.Gibbs, E.Gibbs, W.G.Lennox (1937), F.Gibbs, E.Gibbs (1952, 1964), давшие подробную электроэнцефалографическую семиотику эпилепсии.

В последующие годы работы исследователей были посвящены не только феноменологии электроэнцефалографии при различных заболеваниях и состояниях мозга, но и изучению механизмов генерации электрической активности. Существенный вклад в эту область внесен работами E.D.Adrian, B.Matthews (1934), G.Walter (1950), В.С.Русинова (1954), В.Е.Майорчик (1957), Н.П.Бехтеревой (1960), Л.А.Новиковой (1962), Н.Jasper (1954). Большое значение для понимания природы электрических колебаний головного мозга имели исследования нейрофизиологии отдельных нейронов с помощью метода микроэлектродов, выявившие те структурные субъединицы и механизмы, из которых складывается суммарная ЭЭГ (Костюк П.Г., Шаповалов А.И., 1964, Eccles J., 1964).

Важнейшее значение для понимания механизмов генерации нормальной ЭЭГ и использования ее в качестве инструмента функциональной диагностики имели исследования неспецифических систем ретикулярной формации и лимбического комплекса — структур, определяющих уровень функциональной активности мозга (Анохин П.К., 1964; Jasper H., 1949; Magoun H.W., 1958).

ЭЭГ представляет собой сложный колебательный электрический процесс, который может быть зарегистрирован при расположении электродов на мозге или на поверхности скальпа, и является результатом электрической суммации и фильтрации элементарных процессов, протекающих в нейронах головного мозга.

Многочисленные исследования показывают, что электрические потенциалы отдельных нейронов головного мозга связаны тесной и достаточно точной количественной зависимостью с информационными процессами.

Для того чтобы нейрон генерировал потенциал действия, передающий сообщение другим нейронам или эффекторным органам, необходимо, чтобы собственное его возбуждение достигло определенной пороговой величины. Уровень возбуждения нейрона определяется суммой возбуждающих и тормозных воздействий, оказываемых на него в данный момент через синапсы. Если сумма возбуждающих воздействий больше суммы тормозных на величину, превышающую пороговый уровень, нейрон генерирует нервный импульс, распространяющийся затем по аксону. Описанным тормозным и возбуждающим процессам в нейроне и его отростках соответствуют определенной формы электрические потенциалы.

Мембрана — оболочка нейрона — обладает электрическим сопротивлением. За счет энергии обмена веществ концентрация положительных ионов в экстраклеточной жидкости поддерживается на более высоком уровне, чем внутри нейрона. В результате существует разность потенциалов, которую можно измерить, введя один микроэлектрод внутрь клетки, а второй расположив экстраклеточно. Эта разность потенциалов называется потенциалом покоя нервной клетки и составляет около 60-70 мВ, причем внутренняя среда заряжена отрицательно относительно экстраклеточной и внеклеточной средой носит название *поляризации* мембраны нейрона. Увеличение разности потенциалов называется соответственно *гиперполяризацией*, а уменьшение — *деполяризацией*.

Наличие потенциала покоя является необходимым условием нормального функционирования нейрона и генерирования им электрической активности. При прекращении обмена веществ или снижении его ниже допустимого уровня различия концентраций заряженных ионов по обе стороны мембраны сглаживаются, с чем связано прекращение электрической активности в случае клинической или биологической смерти мозга. Потенциал покоя является тем исходным уровнем, на котором происходят изменения, связанные с процессами возбуждения и торможения, — спайковая импульсная активность и градуальные более медленные изменения потенциала. Спайковая активность (от англ. spike — острое) характерна для тел и аксонов нервных клеток и связана с бездекрементной передачей возбуждения от одной нервной клетки к другой, от рецепторов к центральным отделам нервной системы или от центральной нервной системы к исполни-

тельными органами. Спайковые потенциалы возникают в момент достижения мембраной нейрона некоторого критического уровня деполяризации, при котором наступает электрический «пробой» мембраны и начинается самоподдерживающийся процесс распространения возбуждения в нервном волокне. При внутриклеточной регистрации спайк имеет вид высокоамплитудного, короткого, быстрого положительного пика.

Характерными особенностями спайков являются их высокая амплитуда (порядка 50-125 мВ), небольшая длительность (порядка 1-2 мс), приуроченность их возникновения к достаточно строго ограниченному электрическому состоянию мембраны нейрона (критический уровень деполяризации) и относительная стабильность амплитуды спайка для данного нейрона (закон «все или ничего»).

Градуальные электрические реакции присущи в основном дендритам в соме нейрона и представляют собой постсинаптические потенциалы (ПСП), возникающие в ответ на приход к нейрону спайковых потенциалов по афферентным путям от других нервных клеток. В зависимости от активности возбуждающих или тормозящих синапсов соответственно различают возбуждающие постсинаптические потенциалы (ВПСП) и тормозные постсинаптические потенциалы (ТПСП). ВПСП проявляется положительным отклонением внутриклеточного потенциала, а ТПСП — отрицательным, что соответственно обозначается как деполяризация и гиперполяризация. Эти потенциалы отличаются локальностью, декрементным распространением на очень короткие расстояния по соседним участкам дендритов и сомы, сравнительно малой амплитудой (от единиц до 20-40 мВ), большой длительностью (до 20-50 мс). В отличие от спайка, ПСП возникают в большинстве случаев независимо от уровня поляризации мембраны и имеют различную амплитуду в зависимости от объема афферентной посылки, пришедшей к нейрону и его дендритам. Все эти свойства обеспечивают возможность суммации градуальных потенциалов во времени и пространстве, отображающей интегративную деятельность определенного нейрона (Костюк П.Г., Шаповалов А.И., 1964; Eccles, 1964). Именно процессы суммации ТПСП и ВПСП определяют уровень деполяризации нейрона и, соответственно, вероятность генерации нейроном спайка, т.е. передачи накопленной информации другим нейронам (рис. 1).

Как видно, оба эти процесса оказываются тесно связанными: если уровень спайковой бомбардировки, обусловленной приходом спайков по афферентным волокнам к нейрону, определяет колебания мембранного потенциала, то уровень мембранного потенциала (градуальные реакции) в свою очередь обуславливает вероятность генерации спайка данным нейроном (рис. 2).

Как следует из изложенного выше, спайковая активность представляет собой значительно более редкое событие, чем градуальные колебания соматодендритного потенциала. Приблизительное соотношение между временным распределением этих событий можно получить из сопоставления следующих цифр: спайки генерируются нейронами мозга со средней частотой 10 в секунду; в то же время по каждому из синаптических окончаний к дендритам и соме притекает соответственно в среднем 10 синаптических воздействий за секунду. Если учесть, что на поверхности дендритов и сомы одного коркового нейрона могут оканчиваться до несколь-

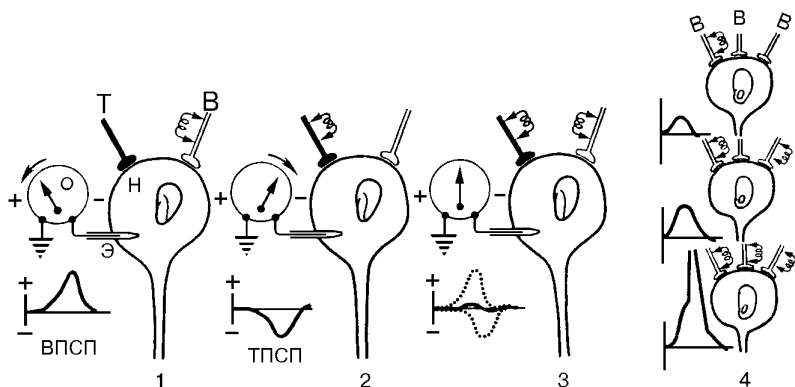


Рис. 1. Изменения мембранного потенциала нейрона при возбуждающем и тормозном синаптическом воздействии.

Н — тело нейрона; Т — тормозное нервное окончание; В — возбуждательное нервное окончание; О — осциллограф; Э — внутриклеточный микроэлектрод; 1 — активация возбуждающего синапса приводит к возникновению ВПСР; 2 — активация тормозного синапса приводит к возникновению ТПСР; 3 — одновременная активация возбуждающего и тормозного синапсов с взаимной нейтрализацией ВПСР и ТПСР; 4 — нарастание амплитуды ВПСР и возникновение потенциала действия при достижении порогового уровня деполяризации с увеличением количества одновременно активированных возбуждающих синапсов.

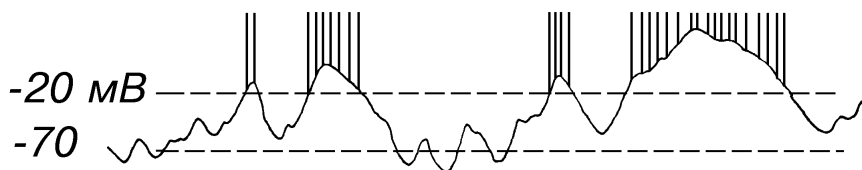


Рис. 2. Соотношения между колебаниями уровня соматодендритных ПСП с генерацией нейроном спайков.

— 70 мВ — потенциал покоя мембраны.

— 20 мВ — уровень критической деполяризации, ниже которого возникает генерация нейроном потенциала действия — спайка. Видно соответствие периодов генерации спайков периодам избыточной деполяризации мембраны нейрона, вызванной возбуждательной синаптической активацией.

ких сотен и тысяч синапсов, то объем синаптической бомбардировки одного нейрона, а соответственно и градуальных реакций, составит несколько сотен или тысяч за секунду. Отсюда соотношение между частотой спайковой и градуальной реакции одного нейрона составляет 1-3 порядка. Относительная редкость спайковой активности, кратковременность импульсов, приводящая к их быстрому затуханию из-за большой электрической емкости коры, определяют отсутствие значительно вклада в суммарную ЭЭГ со стороны спайковой нейронной активности.

Таким образом, электрическая активность мозга отображает градуальные колебания соматодендритных потенциалов, соответствующих ВПСР и ТПСР. Связь ЭЭГ с элементарными электрическими процессами на уровне нейронов нелинейная. Наиболее адекватной в настоящее время представляется концепция статистического отображения активности множественных нейронных потенциалов в суммарной ЭЭГ. Она предполагает, что ЭЭГ является результатом сложной суммации электрических потенциалов многих нейронов, работающих в значительной степени независимо. Отклонения от случайного распределения событий в этой модели будут зависеть от функционального состояния мозга (сон, бодрствование) и от характера процессов, вызывающих элементарные потенциалы (спонтанная или вызванная активность). В случае значительной временной синхронизации активности нейронов, как это отмечается при некоторых функциональных состояниях мозга или при поступлении на корковые нейроны высокосинхронизированной посылки от афферентного раздражителя, будет наблюдаться значительное отклонение от случайного распределения. Это может реализоваться в повышении амплитуды суммарных потенциалов и увеличении когерентности между элементарными и суммарными процессами (Speckmann E.J., Walden J., 1991, Zschocke St., 1991).

Как показано выше, электрическая активность отдельных нервных клеток отражает их функциональную активность по переработке и передаче информации. Отсюда можно сделать заключение, что *суммарная* ЭЭГ также в преформированном виде отражает *функциональную активность*, но уже не отдельных нервных клеток, а их громадных популяций, т.е., иначе говоря, *функциональную активность мозга*. Это положение, получившее многочисленные неоспоримые доказательства, представляется исключительно важным для анализа ЭЭГ, поскольку дает ключ к пониманию того, какие системы мозга определяют внешний вид и внутреннюю организацию ЭЭГ.

На разных уровнях ствола и в передних отделах лимбической системы имеются ядра, активация которых приводит к глобальному изменению уровня функциональной активности практически всего мозга. Среди этих систем выделяют так называемые восходящие активирующие системы, расположенные на уровне ретикулярной формации среднего и в преоптических ядрах переднего мозга, и подавляющие или тормозящие, сомногенные системы, расположенные главным образом в неспецифических таламических ядрах, в нижних отделах моста и продолговатом мозге. Общими для обеих этих систем являются ретикулярная организация их подкорковых механизмов и диффузные, двусторонние корковые проекции. Такая общая организация способствует тому, что локальная активация части неспецифической подкорковой системы, благодаря ее сетевидному строению, приводит к вовлечению в процесс всей системы и к практически одновременному распространению ее влияния на весь мозг (рис. 3).

Как явствует из названия, активирующая ретикулокортикальная и лимбико-кортикальная системы вызывают повышение уровня функциональной активности мозга, и их электрическое раздражение приводит к реакции пробуждения (англ. arousal).

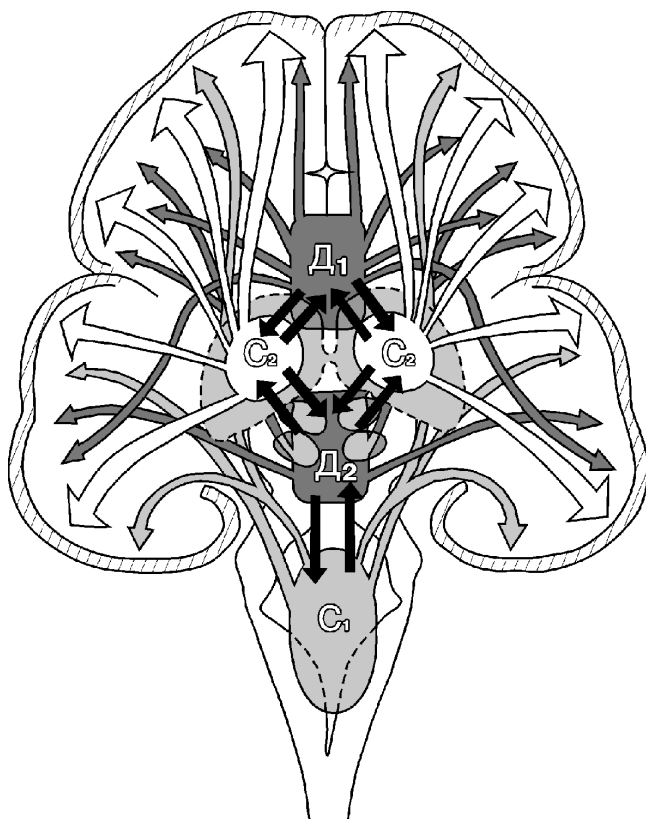


Рис. 3. Восходящая ретикулокортикальная неспецифическая система регуляции уровня функциональной активности мозга. Д₁ и Д₂ — десинхронизирующие активирующие системы среднего мозга и переднего мозга соответственно, С₁ и С₂ — синхронизирующие тормозящие сомногенные системы продолговатого мозга и моста и неспецифических ядер промежуточного мозга соответственно.

Обратные изменения наблюдаются при активации сомногенных ретикулокортикальных и таламокортикальных систем. Животное при этом переходит на более низкий уровень бодрствования, впадает в дремотное состояние или засыпает. Поскольку конечный эффект действия этих двух систем реализуется на одних и тех же мозговых корковых системах, уровень функциональной активности определя-

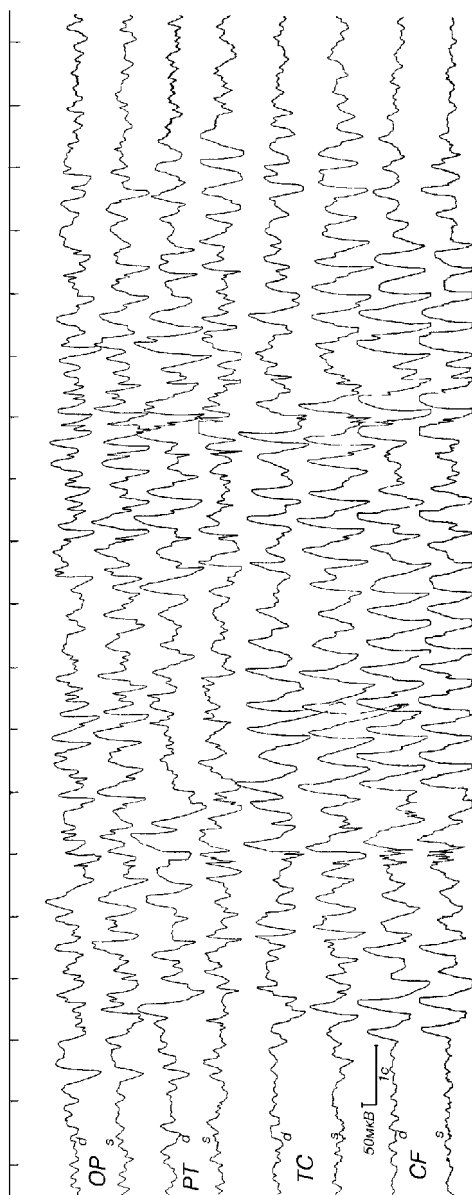


Рис. 79. Больной 9 лет с фенилкетонурией с эпилептическими приступами. Лечение начато поздно. Генерализованные медленные диффузные θ - и δ -волны до 100 мкВ (начало и конец эпохи), перемежающиеся генерализованными всплесками θ - и δ -волн, комбинирующихся с острыми волнами и спайками, образуя комплексы спайк-волна до 200-250 мкВ амплитудой.

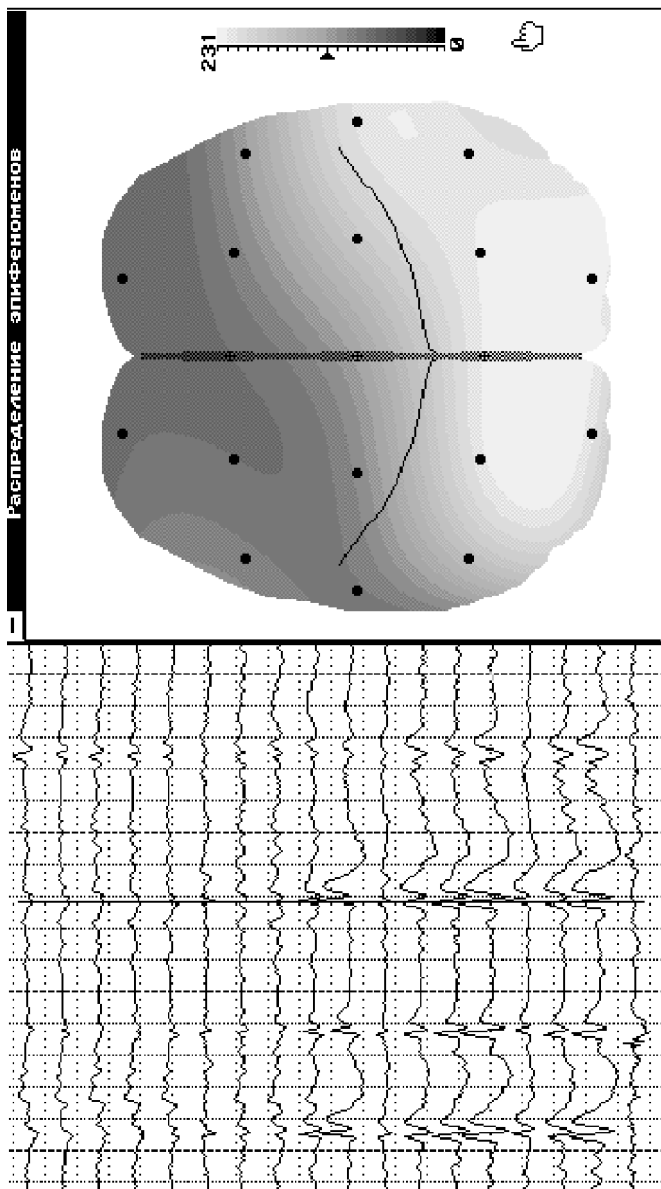


Рис. 80. Компьютерное детектирование спайков.

нополярных отведениях (при отсутствии в биполярных), служит свидетельством в пользу ее генерации локальным глубинным источником и, соответственно, обосновывает целесообразность поиска его трехмерной локализации. Выраженность патологической активности в биполярных отведениях свидетельствует в пользу собственно корковых независимых источников потенциала и делает сомнительной попытку поиска одиночных глубинных диполей, а в случае их обнаружения требует осторожности в их интерпретации.

Хотелось бы отметить, что особое внимание к критическим оценкам КЭАМ ни в коей мере не умаляет значения метода, безусловно являющегося наиболее перспективным в клинической нейрофизиологии. Отмечаемые дискуссионные моменты только подчеркивают необходимость высокой квалификации специалиста, работающего с данным методом, и указывают направления наиболее интересных исследований в этой области. Для общей ориентации в возможностях метода КЭАМ по отношению к конвенциональному ручному анализу ЭЭГ изложенные выше данные и сравнительные оценки в условных символах сведены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение возможностей конвенционального ручного анализа ЭЭГ и КЭАМ

Диагностический аспект	Ручной анализ ЭЭГ	КСМЭЭГ	КАЭЭГ	3-МЛИЭЭГ
1	2	3	4	5
Полнота информации	*****		*	*
Скорость восприятия	*	*****	*****	***
Форма потенциала	*****	-	-	-
Распознавание артефактов	*****	-	-	-
Разрешение по частоте	**	*****	-	
Разрешение по амплитуде	**	**	*****	
Разрешение по времени	**	-	*****	
Разрешение по поверхностной топике	*	*	*****	*****
Разрешение по глубине	*		*	*****
Эффективность при органических поражениях	****	****		****
Эффективность при функциональных нарушениях	*	*****		
Клиническая релевантность	*****	**		**
Межлабораторная и международная стандартизация	*****			
Объективность	****	*	*	

Примечание: Количество «звездочек» означает условное преобладание над альтернативным методом, «-» означает недостаток по данному аспекту диагностики, отсутствие знака — метод не имеет отношения к данному аспекту.

Резюмируя оценку возможностей КЭАМ в клинической диагностике, в первую очередь следует констатировать неправомерность рассмотрения его как альтернативы конвенциональному анализу ЭЭГ. Исходя из этого, можно сформулировать несколько основных правил его использования в клинической диагностике:

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Терминологический справочник по клинической электроэнцефалографии*

Активация (Activation).

1) Любая процедура, предназначенная для вызывания или усиления нормальной или патологической ЭЭГ активности (в частности, эпилептиформной активности), например: гипервентиляция, фотостимуляция, сон и т.д.

2) Блокирование ритмов ЭЭГ физиологическим или иным стимулом с появлением низкоамплитудной высокочастотной активности. Синоним термина — «пробуждение», «эроузаль» (arousal). Термины не рекомендуется использовать при описании ЭЭГ. Допустимы как интерпретативные.

Активность в ЭЭГ (Activity, EEG). Любая волна или последовательность волн в ЭЭГ.

Активный электрод (Active electrode). Любой электрод, установленный на скальпе или мозге или введенный внутрь мозга, предназначенный для отведения ЭЭГ. Этот электрод в зависимости от конкретных требований подключается к входному контакту 1 усилителя ЭЭГ в референтных отведениях (при таком подключении негативный сдвиг потенциала под этим электродом соответствует направлению вверх на ЭЭГ). Ср. Биполярное отведение. Референтное отведение. (Хотя применение термина не рекомендуется международным Глоссарием, он используется во всем мире. Рекомендуемый Глоссарием термин «рабочий электрод» (exploring electrode) практически никем не употребляется).

Альфа-волна (Alpha wave). Волна длительностью 1/8-1/13 с.

Альфа-диапазон (Alpha band). Частотный диапазон от 8 до 13 Гц. Обозначается греческой буквой α .

Альфа-ритм (Alpha rhythm). Ритм в полосе частот от 8 до 13 Гц, возникает в состоянии бодрствования в задних отделах головы, с наиболее высокой амплитудой в затылочных областях. Амплитуда может варьировать, но у взрослых обычно около 50 мкВ. Блокируется или ослабляется при повышении внимания (в особенности зрительного) или мыслительной активности.

Примечание: термин « α -ритм» должен применяться только к тем ритмам, которые удовлетворяют всем указанным критериям. Любые другие типы ЭЭГ актив-

* В основу справочника положен глоссарий наиболее распространенных терминов, используемых клиническими электроэнцефалографистами, Комитета по методам клинического исследования в электроэнцефалографии Международной Федерации Обществ Электроэнцефалографии. При составлении справочника использовались термины, наиболее употребительные в отечественной электроэнцефалографии. В комментариях к терминам отражена мировая и отечественная практика. Настоящий справочник не является буквальным переводом «Глоссария» и не является официальным документом.

ности в α -диапазоне, отличающиеся от α -ритма топографически или по типу реакции, имеют собственные специфические обозначения (например: μ -ритм) либо описываются как α -активность.

Альфа-варианты (ритмы) (Alpha variant rhythms). Термин применяется к некоторым характерным ритмам ЭЭГ, наиболее отчетливо регистрируемым в задних регионах головы и сходным с α -ритмом по типу реакции, но отличающимся по частоте. Ср. Быстрый α -вариант и медленный α -вариант.

Амплитуда (Amplitude). Величина напряжения ЭЭГ волн. Обычно выражается в микровольтах (мкВ) и измеряется от пика до пика.

Примечание: на амплитуду ЭЭГ волн, регистрируемых на поверхности головы, в значительной степени воздействуют экстрацеребральные факторы, импеданс мозговых оболочек, спинномозговой жидкости, черепа, скальпа и электродов.

Аритмическая активность (Arrhythmic activity). Последовательность волн с непостоянным периодом следования.

Аркообразный ритм (Arceau rhythm. Wicket rhythm). Применение термина не рекомендуется. Предлагается термин «мю-ритм».

Артефакт (Artifact, artefact).

- 1) Любая регистрируемая в канале ЭЭГ разность потенциалов экстрацеребрального происхождения.
- 2) Любое изменение ЭЭГ, вызываемое экстрацеребральными факторами, такими как: изменения окружающего мозг вещества, инструментальные искажения или сбой, ошибки оператора.

Асимметрия (Asymmetry).

Различия в ЭЭГ активности в гомологических областях противоположных сторон головы по амплитуде и/или форме и частоте.

Неодинаковое отклонение сигнала ЭЭГ относительно изолинии.

Асинхронность (Asynchrony). Неодновременность возникновения ЭЭГ активности в разных областях на одной или противоположных сторонах головы.

Атипичные повторяющиеся комплексы «спайк-медленная волна» (Atypical repetitive spike-and-slow-waves). Термин относится к разрядам, представляющим собой последовательность комплексов «спайк-медленная волна», возникающим билатерально-синхронно, но не удовлетворяющим одному или нескольким критериям определения «комплексов спайк-медленная волна частотой 3 Гц». Ср. «Комплексы спайк-медленная волна частотой 3 Гц».

Базальный электрод (Basal electrode). Любой электрод, установленный вблизи основания черепа. Ср. Носоглоточный электрод, сфеноидальный электрод.

Бета-диапазон (Beta band). Полоса частот выше 13 Гц. Обозначается греческой буквой β . Примечание: чернильная регистрация не воспроизводит частоту выше 75 Гц. Обычно используемые относительно медленные скорости бумаги дополнительно ограничивают возможности электроэнцефалографистов визуально определять частоты выше 35 Гц. Это, однако, не оправдывает ограничение частотной характеристики ЭЭГ канала по высоким частотам, так как к ЭЭГ волнам также относятся такие быстрые переходные феномены, как, например, спайки и острые волны, компоненты которых включают частоты выше 50 Гц.

Бета-ритм (Beta rhythm). Обычно любой ритм в полосе частот выше 3 Гц. Наиболее типичное определение: ритм в полосе частот от 13 Гц до 35 Гц, регистрируемый в лобно-центральных регионах головы в состоянии бодрствования. Амплитуда лобно-центрального β -ритма варьирует, но обычно ниже 30 мкВ. Наблюдается подавление или ослабление бета-ритма при движениях или тактильной стимуляции контралатеральной половины тела, что особенно явно видно на электрокортикограмме.

Билатерально-синхронная. Активность, возникающая одновременно и синфазно в гомотопных (симметричных) отделах двух полушарий.

Билатеральный (Bilateral). С обеих сторон головы.

Биполярная монтажная схема (Bipolar montage). Несколько биполярных отведений без использования общего для всех отведений электрода. В большинстве случаев эти биполярные отведения связываются между собой, т.е. два смежных отведения имеют один общий электрод. Ср. Референтная монтажная схема.

Биполярное отведение (Bipolar derivation). Регистрация с помощью пары электродов, расположенных над мозговым веществом. Ср. Активный (рабочий) электрод, биполярная монтажная схема.

Буферный усилитель (Buffer amplifier). Усилитель обычно с коэффициентом усиления по напряжению, равным 1, с высоким входным и низким выходным импедансом, применяемый с целью изолировать входной сигнал от воздействия нагрузки схемы, подключаемой к выходу усилителя. В некоторых электроэнцефалографах каждый из входов подключается к буферному усилителю внутри коммутатора отведений с целью уменьшения кабельных помех и артефактов.

Быстрая активность (Fast activity). Активность с частотным спектром выше α -диапазона, т.е. β -активность.

Быстрая волна (Fast wave). Волна длительностью менее чем у α -волн, т.е. до 1/13 с.

Быстрый α -вариант (ритм) (Fast alpha variant rhythm). Ритм в диапазоне 14-20 Гц, наиболее выраженный в задних регионах головы. Может перемежаться или возникать одновременно с α -ритмом. Блокируется или ослабляется при повышении внимания (в особенности зрительного) или уровня мыслительной активности.

Веретено (Spindle). Группа ритмических волн с характерным быстрым увеличением, а затем быстрым уменьшением амплитуды. Ср. Сонное веретено.

Возбуждение (Arousal). Интерпретативный термин. При описании ЭЭГ применение этого термина не рекомендуется.

Волна (Wave). Любое изменение разности потенциалов между двумя электродами при записи ЭЭГ.

Вспышка (Burst). Группа волн, характеризующаяся внезапным появлением и исчезновением и отличающаяся от фоновой активности по частоте, форме и амплитуде.

Примечание: Не является признаком патологии, не является синонимом термина «пароксизм». Ср. Пароксизм.

Вспышка активности положительных 14 и 6 Гц колебаний (Fouteen and six Hz positive burst). Вспышка аркообразных волн с частотами 13-17 Гц и/или 5-7 Гц, но чаще всего 14 Гц и/или 6 Гц, наблюдаемая обычно в задневисочных и смежных с ними областях на одной или обеих сторонах головы во время сна. Острые пики со-