

Спектр мощности по электроэнцефалограмме: ошибки и практика применения.

Спектральный анализ в исследовании изменчивости ритмов электроэнцефалограммы (Лекция третья)

А. Б. Иванов

ГБУЗ «Детская городская клиническая больница № 9 имени Г.Н. Сперанского Департамента здравоохранения Москвы»

РЕЗЮМЕ

Спектральный анализ в традиционном исполнении не пригоден для исследования динамических процессов в головном мозге, так как размер отрезков записи необходимый для построения графиков спектра должен быть существенно длиннее, чем физиологическая изменчивость самой электроэнцефалограммы. Для этих целей разработаны специальные методические подходы: динамическое наблюдение за ритмами ЭЭГ методом Берг-Фурье анализа и разными вариантами построения графиков трендов частотных и амплитудных значений потенциалов головного мозга. Реальной значимости колебаний частоты доминирующего ритма ЭЭГ практически никто не знает, так как фактически отсутствовал инструмент, позволяющий изучать это явление в динамике. Было установлено, что у здоровых взрослых флюктуация альфа-ритма была умеренной. При психических заболеваниях она отличалась высокой вариативностью в зависимости от преобладающей клинической картины. При панических атаках с высоким уровнем тревожности наблюдается обратная картина патологическое снижение выраженности флюктуации частоты альфа-ритма.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЭГ, спектральный анализ, Берг-Фурье анализ, частотные тренды, вариабельность ЭЭГ, психические расстройства.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

EEG Power Spectrum: Errors and Application Practice (lecture three). Spectral analysis in the study of variability of EEG rhythms

L. B. Ivanov

Children's City Clinical Hospital No. 9 n.a. G.N. Speransky, Moscow, Russia

SUMMARY

The traditional EEG spectral analysis is not suitable for the study of dynamic processes in the brain, since the size of the recording segments required for plotting the spectrum graphs should be significantly longer than the physiological variability of the electroencephalogram itself. For these purposes, special methodological approaches have been developed: dynamic observation of EEG rhythms using the Berg-Fourier analysis method and various options for plotting trends of frequency and amplitude values of brain potentials. Almost no one knows the real significance of fluctuations in the frequency of the dominant EEG rhythm, since in fact there was no instrument for studying this phenomenon in dynamics. In panic attacks with a high level of anxiety, the opposite picture is observed, a pathological decrease in the severity of fluctuations in the frequency of the alpha rhythm.

KEY WORDS: EEG, spectral analysis, Berg-Fourier analysis, frequency trends, EEG variability, mental disorders.

CONFLICT OF INTEREST. The author declares no conflict of interest.

Как уже упоминалось выше (в предшествующей лекции) спектральный анализ в традиционном исполнении не пригоден для исследования динамических процессов в головном мозге, так как размер отрезков записи необходимый для построения графиков спектра должен быть существенно длиннее, чем физиологическая изменчивость самой электроэнцефалограммы. Эмпирически установлено, что для построения графиков спектра мощности, анализируемый участок должен быть не короче 30 секунд. Однако физиологическая вариабельность частотных составляющих ЭЭГ сама представляет интерес для оценки функционального состояния головного мозга, так как установлено, что она существенно меняется от множества причин, как в пределах изменчивости у здорового человека, так и при патологических состояниях.

Для этих целей разработаны специальные методические подходы: динамическое наблюдение за ритмами ЭЭГ методом Берг-Фурье анализа и разными вариантами построения графиков трендов частотных и амплитудных значений потенциалов головного мозга. Опыт применения методики Берг-Фурье невелик. Известна кандидатская диссертация Кечиной В. В. [2] в восьмидесятых-девяностых годах по контролю за биоэлектрической активностью головного мозга при кетоларовом наркозе у детей, выполненном на итальянском приборе (О.Т.Е. Biomedica, Италия), которая продемонстрировала возможность длительного динамического контроля за биотоками мозга не путем монотонного просмотра километров записи, а в виде количественно обработанной информации в компактном варианте. Как говорилось выше (в предшествующей лекции), прибор

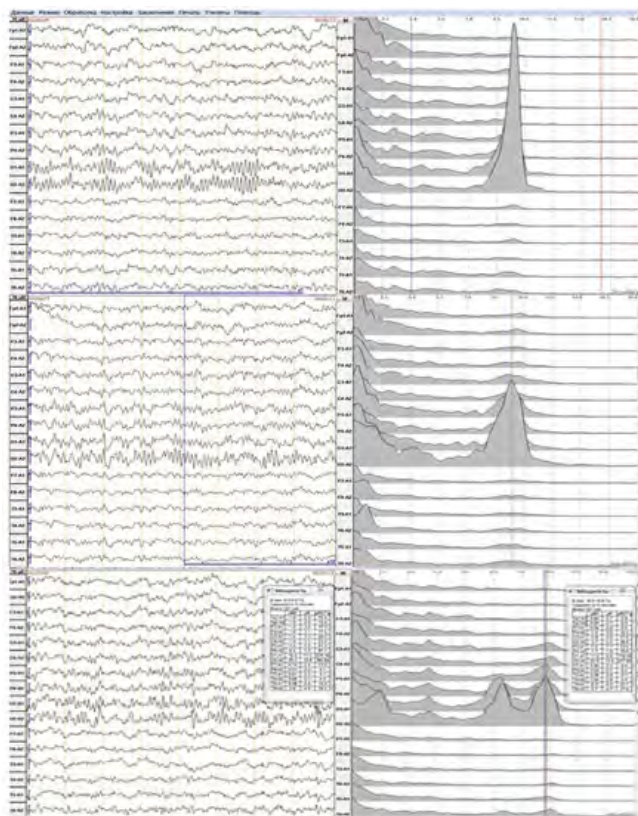


Рисунок 1. На графиках спектра мощности альфа-ритма у разных испытуемых могут встречаться как пики с одной модой, так и иметь несколько модальных величин.

Таблица 1
Характеристика обследованных условно здоровых детей.

Характеристика обследованных		Личностные особенности		Всего
		Незрелая функция внимания	Повышенный тревожный фон	
Здоровые дети	5-7 лет	5	5	10*
	10-15 лет	2	4	6
Здоровые взрослые		-	-	4

обогнал свое время и широкого распространения не нашел. Кроме того, его конструкция преимущественно была построена еще на аналоге принципе с жестко лимитированными возможностями изменять программные настройки, что препятствовало его широкому применению. Да и идей его применения, при том уровне понимания клинической нейрофизиологии, не оказалось. Небогато на такие идеи и в наше время, но не по уровню подготовленности специалистов, а скорее, по причине неосведомленности их о таких современных возможностях. Хотя совершенно очевидно, что динамический контроль за биопотенциалами мозга с помощью метода Берг-Фурье анализа мог бы быть чрезвычайно информативным в разных областях врачебной деятельности: в фармакологической ЭЭГ, в сомнологии, у постели больного с совершенно разными

патологическими состояниями в реанимационных отделениях, при оценке реакции мозговой активности при разных вариантах психологических нагрузок. Особо необходимо отметить, что его применение полностью бы вытеснило самый примитивный вариант оценки реактивности мозга, как амплитудно-интегральная ЭЭГ (Amplitude-integrated electroencephalography), получивший широкое применение в реаниматологии новорожденных. Суть последнего заключается в отыскивании в записи ЭЭГ, сжатой до уровня шума, участков амплитудного подъема, в поисках феномена «активность-подавление». При таком варианте записи все частотные компоненты ЭЭГ теряются полностью. Методика Берг-Фурье не только вполне применима для поиска и демонстрации феномена «активация-подавления», но полностью сохраняет информацию о всех частотных составляющих и обеспечивает настройку анализа под индивидуальные потребности пользователя.

Суть работы метода Берг-Фурье заключается в непрерывной записи участков ЭЭГ заданной длины, которая определяется поставленной диагностической задачей. Короткие фрагменты (от 2 до 15 с и более) программируют при анализе амбулаторной ЭЭГ, как в реальном, так и постреальном времени, длинные —, как правило, при часовом или суточном мониторинге, в том числе в реанимационных отделениях. Вся сложность динамического построения графиков спектра мощности при этом варианте анализа заключается в том, что простым суммированием отдельных фрагментов ЭЭГ получить результат без искажений нельзя. Для этого разработан особый алгоритм сопоставления исследуемого короткого фрагмента (вплоть до 2 сек) с соседними участками (МБН). Алгоритм этот настраиваемый под разные задачи исследования. Он существенно отличается от фиксированного в итальянском приборе.

Частотная изменчивость альфа-ритма при расстройстве ментальных функций

Мы имеем позитивный опыт использования Берг-Фурье анализа для оценки выраженности изменчивости альфа-ритма у здоровых детей с учетом личностных особенностей и при разных психических расстройствах (1).

Было замечено, что на спектрах мощности пик доминирующей частоты может быть как узким, так и достаточно широким, или иметь несколько модальных вершин (рис. 1.), что косвенно указывает на вероятную частотную вариабельность альфа-ритма.

На практике частотная вариабельность альфа-ритма до сих пор еще носит описательный характер на базе преимущественно визуальной оценки, так как классический спектральный анализ на это вопрос ответить не может. Реальной значимости колебаний частоты доминирующего ритма практически никто не знает, так как фактически отсутствовал инструмент, позволяющий изучать это явление в динамике.

Нами была поставлена задача изучить варианты частотной флюктуации альфа-ритмов на основе новых объективных методик обработки ЭЭГ у условно здоровых детей и взрослых, и пациентов с некоторыми вариантами психических расстройств (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 2
Характеристика обследованных детей и взрослых
с расстройствами ментальных функций

	Диагноз	Количество пациентов
Дети	СДВГ	6
	Задержка речевого развития	5
	Астено-невротические реакции	7
	Соматоформные расстройства	5
	Парасомнии	5
Взрослые	Панические атаки	8
Всего		36*

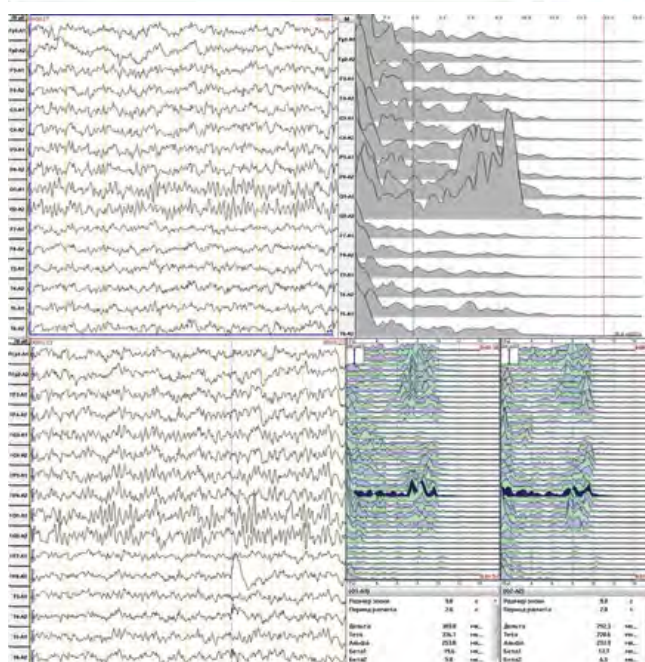


Рисунок 2. Иллюстрация разной информационной наполненности графиков традиционного спектрального анализа по фрагменту длительностью 45 сек и графиков построенных по алгоритму Берг-Фурье. На верхнем рисунке график отражает усредненную картину частотных компонентов альфа-ритма за весь временной отрезок, на нижнем – прослеживается изменчивость этого диапазона на протяжении всего периода регистрации.

Для изучения частотной флюктуации альфа-ритма применен Берг-Фурье анализ с расширенными возможностями, встроенной в компьютерную программу «МБН-Нейрокартограф» (рис. 2).

Количественно частотная флюктуация была измерена у условно здоровых детей в двух возрастных группах 5–7 и 10–15 лет с учетом зрелости функций внимания и физиологической тревожности, и взрослых (табл. 1.), а также у детей с СДВГ, с задержкой речевого развития, астено-невротическими реакциями, соматоформными расстройствами, парасомниями, у взрослых пациентов с паническими атаками с выраженным тревожным аффектом (табл. 2).

Анализу подвергались фрагменты длительностью 30–60 секунд непрерывной записи вне функциональных проб.

Таблица 3
Показатели частоты и ее флюктуации доминирующего альфа-ритма у здоровых обследованных

Характеристика обследованных			Средняя альфа	Флюктуация средней (Сигма)
Здоровые дети	5-7 лет	Незрелая функция внимания	8,3±	±0,31
		Повышенный тревожный фон	8,8±	±0,22
		Средняя по группе	8,7±	±0,27
	10-15 лет	Незрелая функция внимания	9,8±	±0,3
		Повышенный тревожный фон	10,2±	±0,22
		Средняя по группе	10,2±	±0,24
		Здоровые взрослые	-	10,4±

Таблица 4
Частотные показатели доминирующего альфа-ритма у пациентов с психическими расстройствами

	Диагноз (возраст)	Средняя частота доминирующего альфа-ритма	Флюктуация доминирующего альфа-ритма
Дети	СДВГ (5-7 лет)	8,0±	±0,51
	Задержка речевого развития (5-7 л)	7,9±	±0,53
	Соматоформные расстройства (5-7 л)	8,7±	±1,5
	Соматоформные расстройства (10-15 л)	9,5±	±0,64
	Парасомнии 5-7 л)	8,7±	±0,40
	Астено-невротические реакции (7-9 л)	10,9±	±0,19
	Астено-невротические реакции (10-15 л)	9,7±	±0,012
Взрослые	Панические атаки (с высоким уровнем тревожности)	9,0±	±0,16

Было установлено, что у здоровых взрослых флюктуация альфа-ритма в пределах выбранного интервала анализа относительно средней частоты ритма имела отклонение в пределах $\pm 0,21$ Гц, у детей старшей возрастной группы – в пределах $\pm 0,24$ Гц, младшей возрастной группы $\pm 0,27$ Гц. (табл. 3).

В группах детей с СДВГ и задержкой формирования речевых функций средняя частота альфа ритма была в среднем ниже, чем в контрольной группе на 0,3–0,4 Гц, а частотная флюктуация у детей была непостоянной и колебалась от $\pm 0,3$ Гц до $\pm 1,6$ Гц, в среднем – $\pm 0,51$ и $\pm 0,53$ Гц соответственно (табл. 4).

При соматоформных расстройствах характер направленности изменений показателя флюктуации у разных пациентов зависел от преобладания той или иной клинической картины. У детей младшей группы он достигал $\pm 1,5$ Гц, старшей – $\pm 0,64$ Гц, что значительно превышало пределы колебаний частоты доминирующего ритма у здоровых детей.

У пациентов с астено-невротическими реакциями, если в структуре симптомокомплекса преобладали

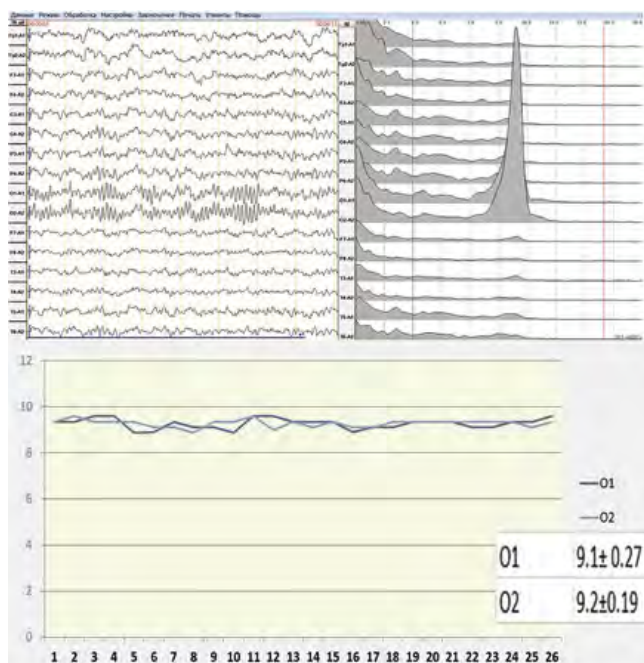


Рисунок 3. Флюктуация доминирующего альфа ритма условно здорового ребенка 15 лет (нативная ЭЭГ и спектр мощности сверху, график флюктуации внизу). Обращает на себя внимание невысокий уровень вариальности частоты доминирующего ритма.

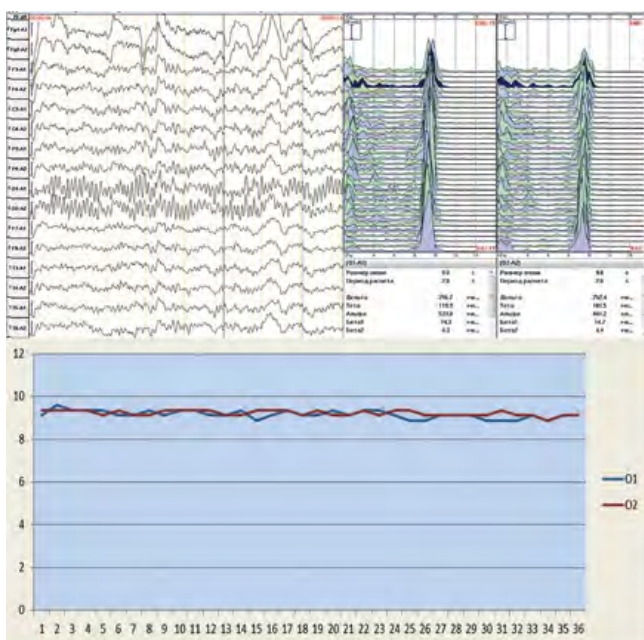


Рисунок 4. Флюктуация доминирующего альфа ритма условно здорового ребенка, 6 лет, (нативная ЭЭГ и графики Берг-Фурье анализа сверху, график флюктуации внизу). Обращает на себя внимание невысокий уровень вариальности частоты доминирующего ритма.

жалобы на повышенную тревожность, отмечалась обратная тенденция, происходило сужение диапазона вариальности значений доминирующей частоты (в среднем $\pm 0,19$ Гц).

Наиболее демонстративно это наблюдалось у взрослых пациентов с паническими атаками с выраженным тревожным аффектом. Флюктуация альфа ритма в размере одной сигмы у них снизилась до $\pm 0,08$ Гц.

Сказанное проиллюстрируем несколькими примерами (рис. 3, 4, 5 и 6).

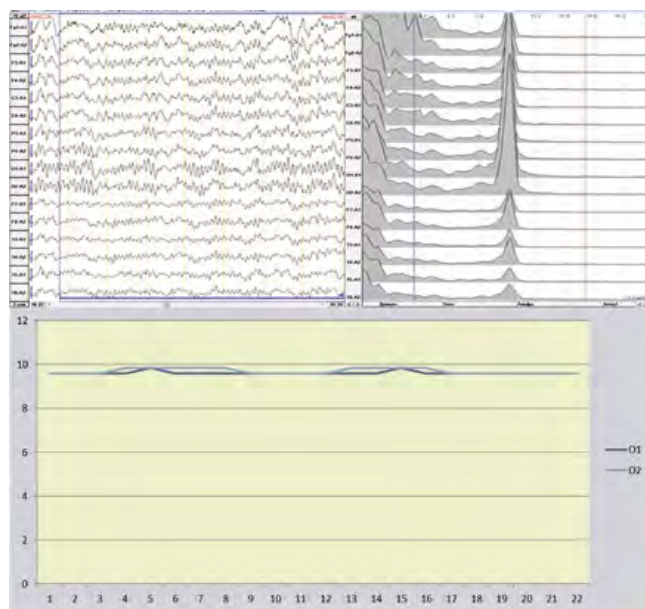


Рисунок 5. Астено-невротический паттерн с повышенным уровнем тревожности ЭЭГ у ребенка 9 лет. На ЭЭГ (рис сверху) расширенная зона альфа представительства, на спектре мощности суженный распространённый пик доминирующего альфа-ритма. На графике снижение флюктуации доминирующей частоты альфа-ритма (график внизу).



Рисунок 6. Пациент 15 лет. Соматоформное расстройство. На графике избыточная флюктуация доминирующего ритма, выходящая даже за границы традиционного диапазона альфа-ритма (Горизонтальные линии – границы альфа-диапазона).

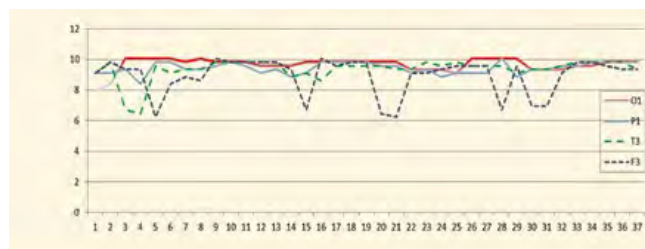


Рисунок 7. Динамика пространственной флюктуации частоты альфа-ритма у ребенка с невротическими реакциями демонстрирует более высокую изменчивость его в передних отделах.

В представленных выше примерах наблюдений показана разная степень частотной флюктуации альфа-ритма в зоне его максимальной выраженности, а именно в затылочных отведениях. Были также изучены особенности изменчивости частоты альфа ритма в разных регионарных зонах по конвекции головы. Оказалось, что регионарная его изменчивость отличается от таковой в затылочных отделах. У здоровых детей эта изменчивость была умеренно выше в передних отделах по сравнению с задними.

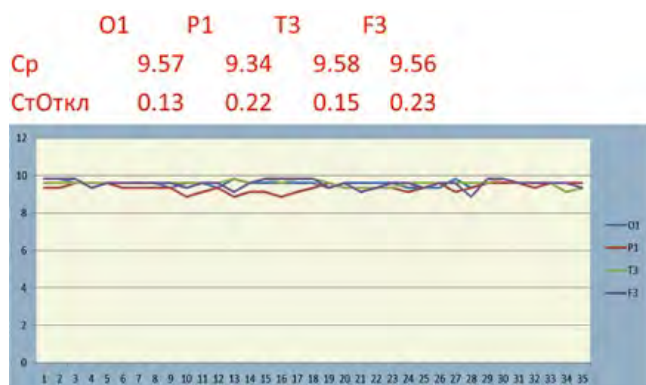


Рисунок 8. У ребенка с высоким уровнем тревожности при динамическом исследовании выявляется низкий уровень флюктуации доминирующей частоты основного ритма в разных регионах.

У пациентов с СДВГ, невротическими реакциями, задержкой речевого развития колебания частоты альфа-ритма в передних отделах могло достигать громадных различий. В передних отделах флюктуация альфа-ритма всегда была больше, чем в затылочных (рис. 7).

Иная картина наблюдается у пациентов с высокой степенью тревожности. У них как в затылочных, так и лобных отделах уровень частотной флюктуации был невысоким (рис. 8), и ниже, чем в группе здоровых детей.

Таким образом, для здоровых детей и взрослых характерно наличие умеренно выраженной частотной флюктуации. У пациентов с СДВГ и задержкой речевого развития флюктуация доминирующих значений основного ритма существенно возрастала. При формировании в структуре личности тревожного аффекта отмечено сужение выраженности частотной флюктуации альфа-ритма, вплоть до полного ее отсутствия.

Реакция альфа-ритма на функциональную пробу «Открыть-Заккрыть» глаза с позиции частотной вариабельности

Оценка типовой реакции на пробу «Открыть-Заккрыть» в классических руководствах по ЭЭГ осуществляется по нативной ЭЭГ качественно и гласит, что в ответ на «Открытие» глаз происходит подавление альфа-ритма, или наступает десинхронизация, при «Закрывании» – восстановление его.

Частотные изменения альфа-ритма при данной пробе не изучены.

Была поставлена задача проследить характер частотных изменений в структуре затылочного альфа-ритма при «Открытии» и «Закрывании» глаз.

Методы исследования включали в себя: 1) визуальную оценку (рис. 9); 2) частотную флюктуацию доминирующего ритма на этапах функциональной пробы «Открыть-заккрыть глаза» методом Берг-Фурье анализа.

Оказалось, что у всех здоровых обследованных на команду «Открыть»: частота альфа-ритма, несмотря на визуальное полное его подавление (рис. 9), сохраняется на том же уровне (рис. 10), хотя ожидалось, что его частота сместится или в тета, или в бета-диапазон, то есть, альфа-ритм при открытых глазах сохраняется, хотя визуально и отсутствует. На пробу «Заккрыть» у здоровых детей отмечается короткая фаза (в пределах 1 сек)

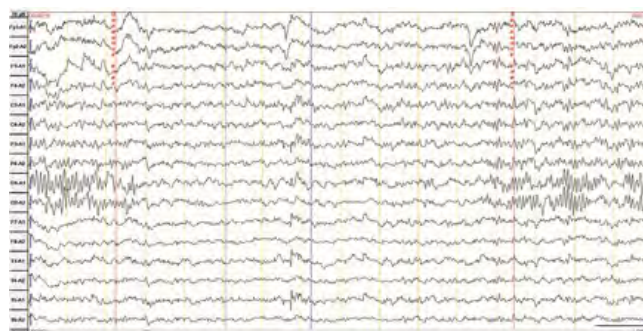


Рисунок 9. Типовая реакция на пробу «Открыть-Заккрыть»: визуально на ЭЭГ альфа-ритм подавляется и восстанавливается.



Рисунок 10. У здорового ребенка на пробу «Открыть глаза» частота альфа-ритма, несмотря на визуальное полное его подавление, сохраняется на том же уровне. На пробу «Заккрыть»: отмечается короткая фаза падения частоты альфа-ритма с последующим резким подъемом ее на 0,5–2 Гц.

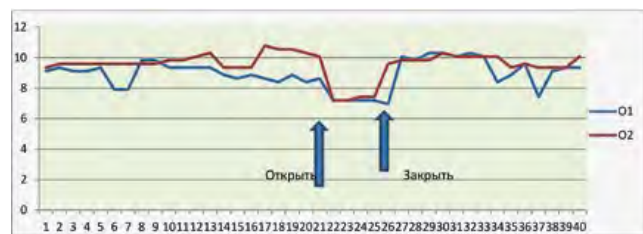


Рисунок 11. Реакция альфа-ритма на функциональную пробу «Открыть-Заккрыть» глаза у ребенка, 9 лет, с соматоформным расстройством сопровождалась не только падением амплитуд, но снижением частоты основного ритма вплоть до захватывающей уровня тета диапазон.

падения частоты альфа-ритма на 1–1,5 Гц с последующим резким подъемом ее на 0,5–2 Гц, которая продолжается 5–8 секунд с постепенным снижением частоты альфа-ритма до исходной (рис. 10). Такая типовая реакция на «Закрывание» глаз в виде временного повышения частоты альфа ритма прослеживалась у большей части здоровых обследованных.

У пациентов с расстройством психической деятельности встречалась иная реакция на пробу «Открыть-Заккрыть глаза». У них отмечалось не только падение амплитуд, но и наблюдалось снижение частоты основного ритма (рис. 11). Флюктуация в виде временного повышения частоты выше исходной была неотчетливой.

Резюме по лекции

Не следует рассчитывать, что после данной лекции, все практические электроэнцефалографисты кинуться широко применять возможности оценивать частотную флюктуацию альфа-ритма.

С одной стороны, врачебная аудитория крайне консервативна.

С другой – редкий специалист быстро раскачается расширить свои профессиональные возможности в плане интерпретирования ЭЭГ в психофизиологическом ключе.

В-третьих, этому нужно учиться, а учиться практически негде не только новому направлению ЭЭГ, но и просто традиционной электроэнцефалографии. С этими бестолковыми сертификатами: «У кого можно учиться, у того нет права учить, а кто может учить, тот не знает, чему учить». Был в СССР наилучший вариант обучения на «рабочем месте». Об этом приходится только ностальгически помыслить. Теперь слезанная с американцев аккредитация с принудительным непрерывным образованием вбила кол в хорошую образовательную советскую систему.

В-четвертых – и работать в этом направлении психофизиологической трактовки не на чем. Электроэнцефалографы, широко распространенные по стране, за редким исключением, ориентированы в основном на диагностику эпилепсии и имеют очень слабое математическое обеспечение или плохо адаптированы под практическое применение.

Но под лежащий камень и вода не течет. Цель данной лекции не только проинформировать практикующих электроэнцефалографистов о новых, возможностях количественной электроэнцефалографии, известных узкому кругу специалистов, но и уведомить большинство брендовых производителей, что их оборудование сильно отстает от времени.

Список литературы / References

1. Л. Б. Иванов, А. В. Будкевич – Частотная и пространственная флюктуация альфа-ритма в норме и патологии. ж. Современная функциональная диагностика, Медицинский алфавит. 2018;3(25):18–23.
LB Ivanov, AV Budkevich – Frequency and spatial fluctuation of alpha rhythm in health and disease. f. Modern functional diagnostics, Medical alphabet. 2018; 3 (25): 18–23.
2. В. В. Кечина – Биоэлектрическая активность головного мозга при комбинированном кетаминном наркозе у детей: Дис... мед. наук: М., 1986 г., 157 с. .
V. V. Kechina - Bioelectrical activity of the brain in combined ketamine anesthesia in children: Dis... honey. Sciences: M., .. 1986, 157 p.

Статья поступила / Received 17.04.2022
Получена после рецензирования / Revised 18.04.2022
Принята к публикации / Accepted 18.04.2022

Сведения об авторе

Иванов Лев Борисович, к.м.н., врач высшей категории по функциональной диагностике, зав. диагностическим отделением КДЦ, E-mail: ivanov40lb@gmail.com, ORCID:0000-0001-5954-1520

ГБУЗ «Детская городская клиническая больница № 9 имени Г. Н. Сперанского Департамента здравоохранения Москвы»

Для переписки: Иванов Лев Борисович, E-mail: ivanov40lb@gmail.com

About author

Ivanov Lev B., PhD Med, physician of superior expert category in functional diagnostics, head of Diagnostic Dept. E-mail: ivanov40lb@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5954-1520

Children's City Clinical Hospital No. 9 n.a. G. N. Speransky, Moscow, Russia

For correspondence: Ivanov Lev B. E-mail: ivanov40lb@gmail.com

Для цитирования: Иванов Л. Б. Спектр мощности по электроэнцефалограмме: ошибки и практика применения. Спектральный анализ в исследовании изменчивости ритмов электроэнцефалограммы (Лекция третья). Медицинский алфавит. 2022; (10): 7–12. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-11-7-12>

For citation: Ivanov L. B. EEG Power Spectrum: Errors and Application Practice (lecture three). Spectral analysis in the study of variability of EEG rhythms. Medical alphabet. 2022; (10):7–12. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-11-7-12>



Электроэнцефалографы на 4, 16, 19, 21 и 32 канала с полной периферийной комплектацией

Для амбулаторной и стационарной регистраций ЭЭГ, а также суточного видеомониторинга

Полный объем традиционного математического обеспечения:

- амплитудный;
- спектральный;
- когерентный анализ с построением графиков и карт с гибким алгоритмом настроек.

Программное обеспечение Нейрокартограф может быть использован для диагностики эпилепсии:

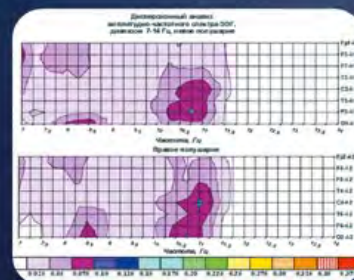
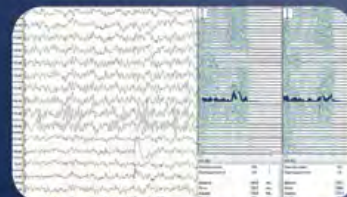
- обеспечен методикой автоматического поиска эпилептиформной активности, включая низкоамплитудные острые волны (оригинальный алгоритм) и трехмерную локализацию источника патологической активности.

Предусмотрена возможность исследования расстройства ментальных функций у здоровых и пациентов с психическими расстройствами:

- непрерывный частотно-амплитудный мониторинг потенциалов мозга методом Берг-Фурье анализа;
- тренды мощности и когерентности;
- построение трехмерных дисперсионных карт по Росману.

Любой модельный ряд по желанию заказчика:

- мобильный;
- стационарный;
- варианты, на одно;
- или несколько рабочих мест.



ООО «НАУЧНО-МЕДИЦИНСКАЯ ФИРМА МБН»

105120, Москва, 2-й Сыромятнинский пер., д. 10 кв. 6
Телефон: (495) 917-83-24 (495) 917-97-03 (495) 917-77-76
E-mail: info@mbn.ru <http://www.mbn.ru>