

= ДИСКУССИИ

=

УДК 616.831-073.97

На статью А.П. Кулаичева "ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА". ЖВНД. 2009. 49(6): 766-775.

ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА / В КЛИНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

©2011г. Л.Б.Иванов

Консультативно-диагностический центр при Детской городской клинической больнице № 9

им. Т.Н. Сперанского, Москва, e-mail:

lb-ivanov@yandex.ru Поступила в

редакцию 20.04.2010 г. Принята в

печать 18.10.2010 г.

В рамках дискуссии об информативности метода когерентного анализа приводится обзор успешного применения в клинике этого метода обработки ЭЭГ на моделях клинического использования при многих патологических состояниях. Не отрицая выдвинутые оппонентом тезисы о несовершенстве методического обеспечения применения когерентного анализа ЭЭГ и несопоставимость результатов получаемых на разных программных продуктах, автор указывает на пути преодоления этих трудностей. Прежде всего предлагается унифицировать режимные условия выполнения методики. Автор скептически относится к тезису оппонента, что на ошибки вычисления влияет гипотетический "шум" (*все сигналы окружающего пространства*), так как его не удастся обнаружить у пациентов с "нулевой" когерентностью при диагностике смерти мозга. Высказываются сомнения о перспективности замены когерентного анализа в оценке синхронных процессов мозга на искусственную медленную кривую огибающей модулированные группы волн. В заключении автор отмечает, что все реально существующие технические и методические проблемы применения когерентного анализа ЭЭГ вполне преодолимы.

Ключевые слова: когерентность, ЭЭГ.

On the Informative Value of Coherence Analysis in Clinical EEG Studies

L. B. Ivanov

Consultative-Diagnostic Centr, Speransky Children's city Clinical Hospital no. 9, Moscow,

Within the framework of discussion about the informative value of the method of coherent analysis, results of successful clinical application of this method of EEG processing in different morbid conditions are reviewed. Not denying the theses proposed by the opponent about the imperfection of methodological maintenance of the EEG coherent analysis and incompatibility of the results received with different software, the ways of overcoming these difficulties are specified. First of all, it is offered to unify procedural conditions of the technique. The thesis of the opponent that calculation errors are influenced by hypothetical "noise" (*all signals of the environment*) is regarded skeptically, as it could not be found in patients with "zero" coherence with the diagnosis of brain death. Some doubts are cast upon the prospect of replacement of the coherent analysis with an artificial envelope of the modulated groups of waves in assessment of synchronous processes of the brain. It is concluded that all technological and methodological problems of application of the EEG coherent analysis existing now can be overcome.

Keywords: coherence, EEG.

Давно пора не только обсудить эту тему, как предлагает редакция журнала, но и наметить пути преодоления нерешенных на сегодняшний день проблем, препятствующих широкому распространению данного метода обработки ЭЭГ и клинической интерпретации. В этом плане мы должны быть благодарны автору, что он затронул эту злободневную тему.

Первые шаги, направленные в сторону автоматического анализа ЭЭГ, были сделаны уже через 20 лет после регистрации Хансом Бергером в 1924 году первой электроэнцефалограммы человека, а в 50-х годах появляются первые малоканальные системы для автоматического поддержания глубины наркоза и для определения стадий ночного сна. Пробразом современных компьютерных электроэнцефалографов явились многоканальные "электроэнце-фалоскопы", разработанные Г. Уолтером и М.Н. Ливановым в конце 50-х годов. Эти приборы отображали распределение амплитуды ЭЭГ на поверхности скальпа с помощью световых табло или примитивных электронно-лучевых трубок. Одним из пионеров применения математических методов анализа ЭЭГ на ЭВМ первого поколения заслуженно считается О. И. Гриндель.

Бурное развитие электронно-вычислительной техники во второй половине XX столетия и ее внедрение в медицину способствовало созданию компьютеризированных диагностических комплексов. Описания первых систем для "картирования электрической активности мозга" (Brain Electrical Activity Mapping — BEAM), реализованных на базе персональных компьютеров, появились в западной научной печати в 1979 г. С этого момента отмечается рост публикаций, посвященных различным аспектам компьютерной ЭЭГ. Между тем количественная электроэнцефалография, обладая рядом несомненных преимуществ перед визуальным анализом ЭЭГ, не лишена и целого ряда ограничений. Прежде всего наиболее часто применяющийся метод первичного анализа ЭЭГ — Фурье-преобразование, обладает относительно низкой помехоустойчивостью. Данные, полученные на разных системах компьютерного анализа и топографического картирования ЭЭГ, далеко не всегда и не полностью совместимы [7]. Это затрудняет создание единых баз данных и выявления универсальных для всех систем нозологически или синдромологически специфических количественных характеристик ЭЭГ и требует от исследователя еще более высокой квалификации, дополнительных знаний и понимания нейрофизиологической природы первичных параметров ЭЭГ, подвергающихся анализу, представления и принципов преобразования ЭЭГ-сигнала.

Автор этих строк, не математик, а чистой воды пользователь со специальным медицинским образованием. При этом активный пользователь именно когерентного анализа ЭЭГ с опытом применения около 20 лет, изложенного в ряде статей и монографий, и смотрит на когерентный анализ ЭЭГ не с позиции "правильности" или "неправильности" расчетов получаемых значений

или правомочности переноса методики из радиоэлектроники в нейрофизиологию, а с позиции полезности или бесполезности получаемых результатов для толкования тех или иных нейрофизиологических механизмов, даже игнорируя на определенном этапе факт неопределенности действительной информативности метода. Другими словами: пусть математики спорят, а мы попробуем... Мы исходили из того, что если правы те, кто сеет негатив к методу, то против нашей воли и эмпирическое применение когерентности не даст никакого клинического результата, а если наметятся интересные закономерности, то нам уже будет все равно, согласны с нами математики или нет.

Основоположниками метода когерентности в электроэнцефалографии считаются Н. Гуд-ман [22], В. Адей [21], Д. Вальтер [25]. Физиологическую направленность методу когерентности дали работы М.Н. Ливанова [14].

С этого периода началось накопление опыта клинического применения метода когерентности для оценки состояния связей мозга в норме и патологии. Убедительные данные о полезности использования когерентного анализа ЭЭГ в клинике на модели бессознательного состояния у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой, представленные О.М. Гриндель [4—6], фактически явились трамплином для целой серии исследований с использованием метода когерентного анализа ЭЭГ при опухолевом поражении диэнцефальных и лимбических структур [1].

Установлены закономерности изменения внутримозговых отношений детей с тикозными гиперкинезами [3], при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью [18, 24]. Этими авторами динамика показателей когерентности используется в качестве объективных критериев, дополняющих субъективную оценку редукции клинических симптомов, на фоне успешной терапии. Значения когерентности с успехом включены в комплекс признаков построения прогноза выхода из коматозного состояния или перехода в апаллический синдром [9, 11]. В неонатологии прослежена динамика становления межполушарных отношений у доношенных младенцев и установлена четкая связь их с этапом физиологического становления дифференцированных функций левой и правой конечностей. Установлены отставание во времени формирования этих отношений у условно здоровых недоношенных детей и выраженная задержка формирования поперечных связей у младенцев с угрозой развития детского церебрального паралича, а в тяжелых случаях — отсутствие формирования межполушарных отношений [12]. Отмечено повышение уровня когерентных связей моторной коры при произвольной двигательной нагрузке [20]. Все шире распространяется методика когерентного анализа в психиатрической клинике [8, 17, 23], дистантная организация когерентности используется в распознавании невротического паттерна ЭЭГ [10].

Этот далеко не полный перечень успешного применения когерентного анализа ЭЭГ в клинической практике наглядно иллюстрирует, что методики, позволяющие оценивать синхронность событий в разных отделах головного мозга, необходимы не только экспериментальной физиологии и медицине, но и клинической практике.

Другое дело — точность и достоверность самого факта этого измерения методом когерентного анализа ЭЭГ. Вот здесь А.П. Кулаичев совершенно прав. Методическая сторона когерентного анализа ЭЭГ очень сильно хромает. И действительно, разные ЭЭГ-анализаторы, т.е. программные электроэнцефалографические продукты, дают совершенно несравнимые результаты [14]. Как оказалось, они и не могут дать идентичных результатов. Если А.П. Кулаичев уповает на математические особенности вычисления (и наверное, так оно и есть), то это далеко не все. Необходимо не только сблизить (унифицировать эти расчеты), но и неукоснительно соблюдать целый комплекс режимных условий, чтобы получать стабильные результаты не только на разных, но даже на одном и том же диагностическом комплексе.

Приведенное А.П. Кулаичевым на рисунке (Журн. высш. нерв. деят. 2009. 5(6): 773) сравнение спектров когерентности, вычисленных на трех ЭЭГ-анализаторах, как свидетельство их несопоставимости с наших позиций некорректно уже изначально. Во-первых, ничего не известно о частоте дискретизации усилителя, на котором были записаны ЭЭГ, не указано, какое количество точек быстрого преобразования Фурье (БПФ) было использовано при построении графиков когерентности, а от этих режимных условий принципиально изменяется конфигурация графиков когерентности даже в рамках одного программного продукта (рис. 1).

Во-вторых, фиксированная длительность эпох в условиях меняющегося функционального состояния мозга — это грубая ошибка для оценки синхронности процессов. Тем более, если выводы делаются по усреднению коротеньких эпох длительностью 2 или 4 с (в статье А.П. Кулаичева, рис. 6), то мы эмпирически установили, что разброс вычислений будет очень большим.

Огромный минус программы, а таких немало, если в анализ включается только видимая на экране часть записи, или равномерные эпохи, расставленные автоматически, а то и вообще неизвестно откуда взятые расчеты когерентности, выдаваемые программой без участия оператора. В-третьих, ошибочным является построение графиков когерентности путем усреднения результатов по эпохам. Как показывает наш опыт, этого просто нельзя делать, тем более без учета частоты дискретизации прибора. Усреднять следует не по эпохам в секундах, по участкам длительностью 256, 512, 1024 точек БПФ итак далее (рис. 1). Выбор длительности участков определяется тактовой частотой усилителя и суммарной длительностью всех выбранных эпох.

Разделяя с автором статьи точку зрения, что данные, полученные на разных диагностических устройствах как отечественного, так зарубежного производства, несопоставимы, понимаешь, как мы далеки еще от унификации методики анализа когерентности ЭЭГ, если даже А.П. Кулаичевым, одним из ведущих специалистов-теоретиков в области обработки биологического сигнала, совершенно проигнорированы перечисленные выше три пункта, которые для меня, специалиста-практика, являются неукоснительной истиной на уровне аксиомы.

Чтобы не осталось недомолвок, хотелось бы остановиться на изменении функционального состояния головного мозга. Довольно устойчиво доминирует понимание функционального состояния, как бодрствование, дремотное состояние, поверхностный, глубокий сон и т.д. А бодрствование воспринимается как некое стационарное состояние, и именно в этот период выполняется большинство электроэнцефало-

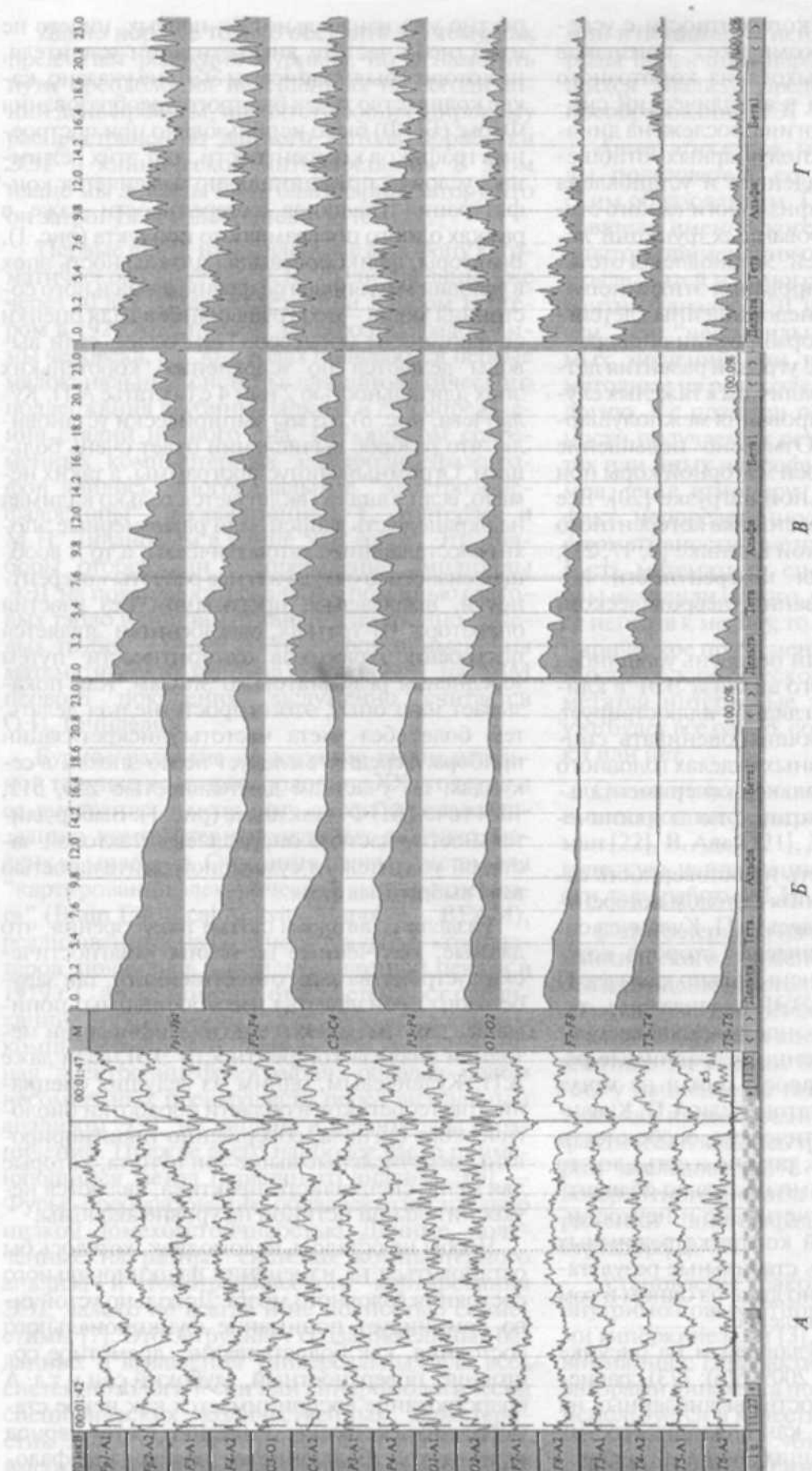


Рис. 1. Графики когерентности в зависимости от выбора длительности участков анализа в зависимости от числа точек БПФ одного и того же фрагмента ЭЭГ (А), при БПФ 512 (Б), 1024 (В), 2048 (Г). Вертикальный столбец перед ЭЭГ — обозначение электродов отведений по международной системе 10–20. Вертикальный столбец перед графиками когерентности — пары отведений.

Fig. 1. Dependence of diagrams form on fragments duration and number of БПФ points in the same part of EEG (А), at 512 (Б), 1024 (В), 2048 (Г). Vertical column before EEG is a symbol of derivation electrodes according to international system 10–20. Vertical column before the diagrams of coherence — derivation couples.

графических исследований. В действительности с бодрствованием совсем не так просто. Из-за конкурирующих восходящих активирующих и тормозящих влияний происходит постоянный дрейф уровня бодрствования. Нейрофизиологи, выполняющие ЭЭГ исследования, наблюдают постоянно меняющуюся картину биотоков мозга: то усиливаются синхронизирующие проявления, то им на смену приходят периоды десинхронизации. Они могут быть длинные, короткие. Синхронизация может проявляться более локально или,

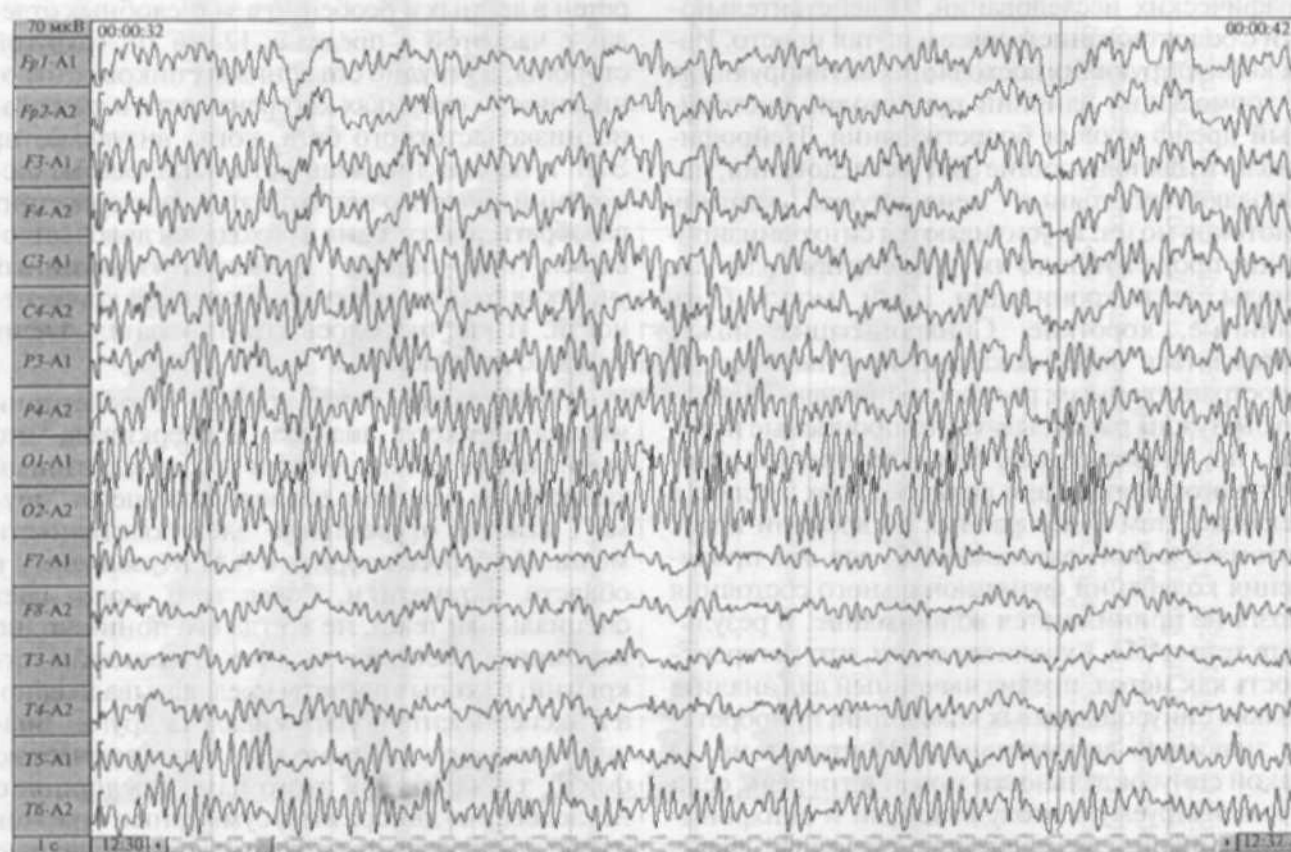
наоборот, с пространственным распространением. Не было бы нужды расписывать эти прописные истины, но, к сожалению, при выполнении когерентного анализа, при разметке эпох анализа в секундах, тем более равных во времени или с автоматической расстановкой, все эти проявления колебаний функционального состояния мозга не принимаются во внимание. В результате тезис Л.П. Кулаичева о том, что когерентность как метод, предназначенный для анализа только синусоидальных колебаний, приобретает

значимую аргументацию. И правильно. О какой синусоидальности может идти речь, если в анализируемую эпоху вгиснули и синхронизированный и десинхронизированный фрагмент? Конечно, даже если "выстричь" все десинхронизированные участки, идеальной синусоидальности не получить, но нечто приближенное — безусловно. Математика от такой синусоидальности покоробит, но другой в ритмике мозга просто не будет. Селекционный подбор функционально однородных участков ЭЭГ, если ориентироваться прежде всего на доминирующую частоту, а в состоянии спокойного бодрствования это, конечно, ритмическая активность в альфа-диапазоне (рис. 2), если не обеспечивает идеальных условий для использования когерентного анализа, то приближает их. А как быть с оставшейся десинхронизированной частью ЭЭГ, также с суммарно собранной длительностью, достаточной для анализа? Насколько здесь применим когерентный анализ? Полной ясности нет. Может быть, здесь и окажется прав А.П. Кулаичев со своей негативной позицией к когерентному анализу в ЭЭГ Крест еще ставить рано. Совершенно не исключено, что визуально десинхронизированная ЭЭГ состоит из множества синхронизированных компонентов разной частоты и амплитуды, которые, суммируясь, выглядят в виде столь хаотичной кривой. Основания для такого предположения вытекают: с одной стороны, из часто встречающихся синхронных веретен в лобных и особенно в заднелобных отделах с частотой в пределах 12—16 Гц; с другой стороны, из трудно объяснимых пиков синхронизации на графиках когерентности в диапазоне низкочастотного бета, когда визуально на ЭЭГ и на спектре мощности, казалось бы, оснований для этого нет. Нос этим еще предстоит разобраться. А сегодня приходится довольствоваться при оценке десинхронизированных участков только значениями средней когерентности. И как оказалось, это показатель очень неплохо работает.

А.П. Кулаичев многократно, на основании математического анализа подчеркивает, что вычисления когерентности носят случайный характер и, вероятно, зависят больше от "шума", нежели от реальной электроактивности мозга. Не берусь спорить с А.П. Кулаичевым в области математики, более того, когда идет специальный текст, не всегда его понимаю, но вспоминаю историю многих физических открытий, в которых расчеты предсказывали одно, а в эксперименте обнаруживалось другое. Значит, рассудить нас может "его величество факт", т.е. опыт. Для этого нами предпринято исследование двух разных суммарных отрезков одной электроэнцефалограммы длительностью не менее 30 с. Первый суммарный отрезок составлен из 1-й минуты записи, второй — из 3-й минуты при эквивалентом функциональном состоянии, при идентичных режимных условиях. Общее количество проанализированных ЭЭГ равнялось 10. Рабочая гипотеза предполагала, что если результат значений когерентности является следствием случайных явлений и не зависит от генераторов мозговых структур, то между первым и вторым исследованием должны быть существенные различия. В порядке иллюстрации, для краткости, приводим сравнение лишь по доминирующей частоте в альфа-диапазоне в межполушарных парах между левым и правым затылочными электродами **(01-02)**. Поскольку абсолютные значения в каждом конкретном случае существенно различались, сравнение осуществлялось в процентах, где за 100% принималось значение, вычисленное на 1-й минуте исследования. Было установлено, что колебания значений когерентностей, вычисленных во фрагментах на 1-й и 3-й минутах, имели статистически крайне малые различия (табл. 1).

Конечно, это недостаточный аргумент, чтобы сразу не принимать во внимание негативное мнение математика. Во всяком случае, это дало основание продолжать исследования. Далее

А



Б

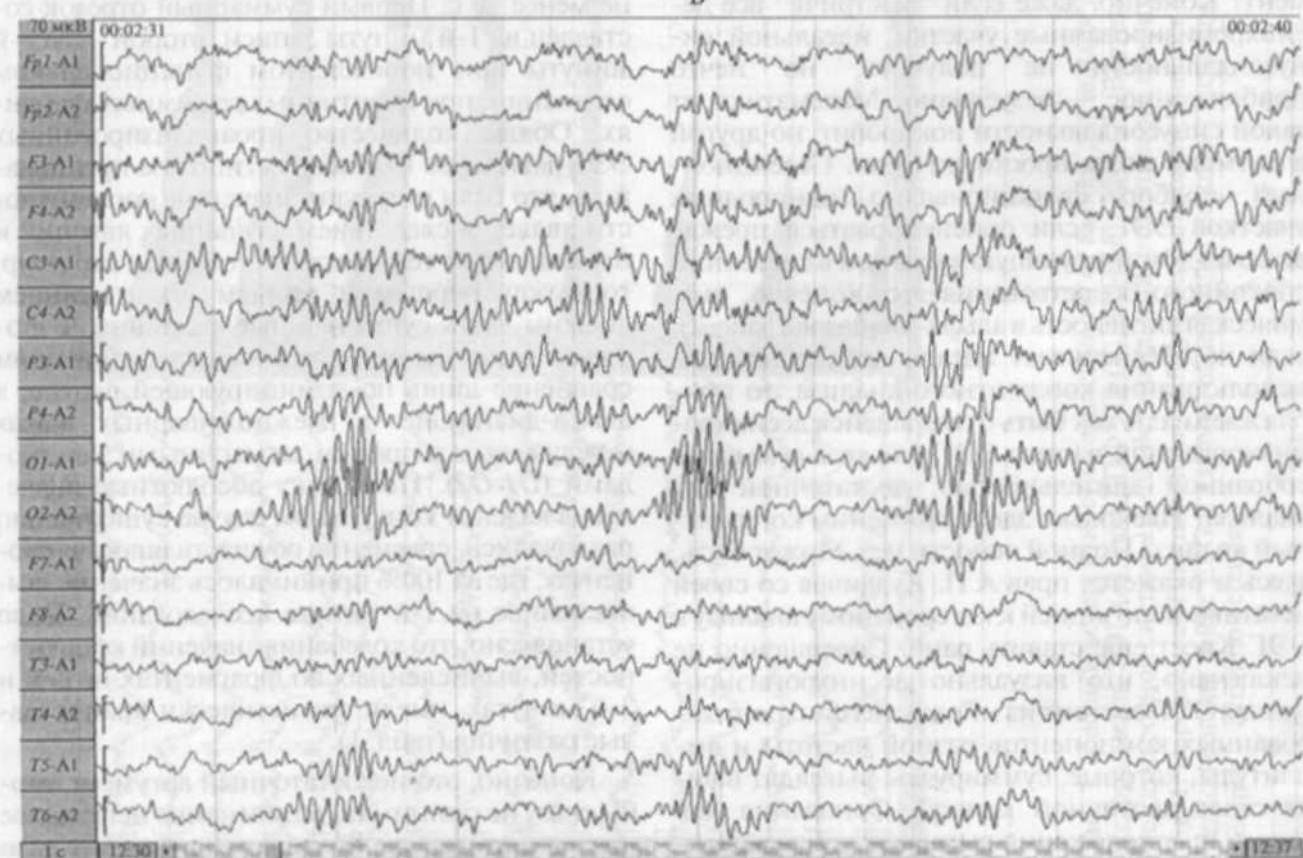
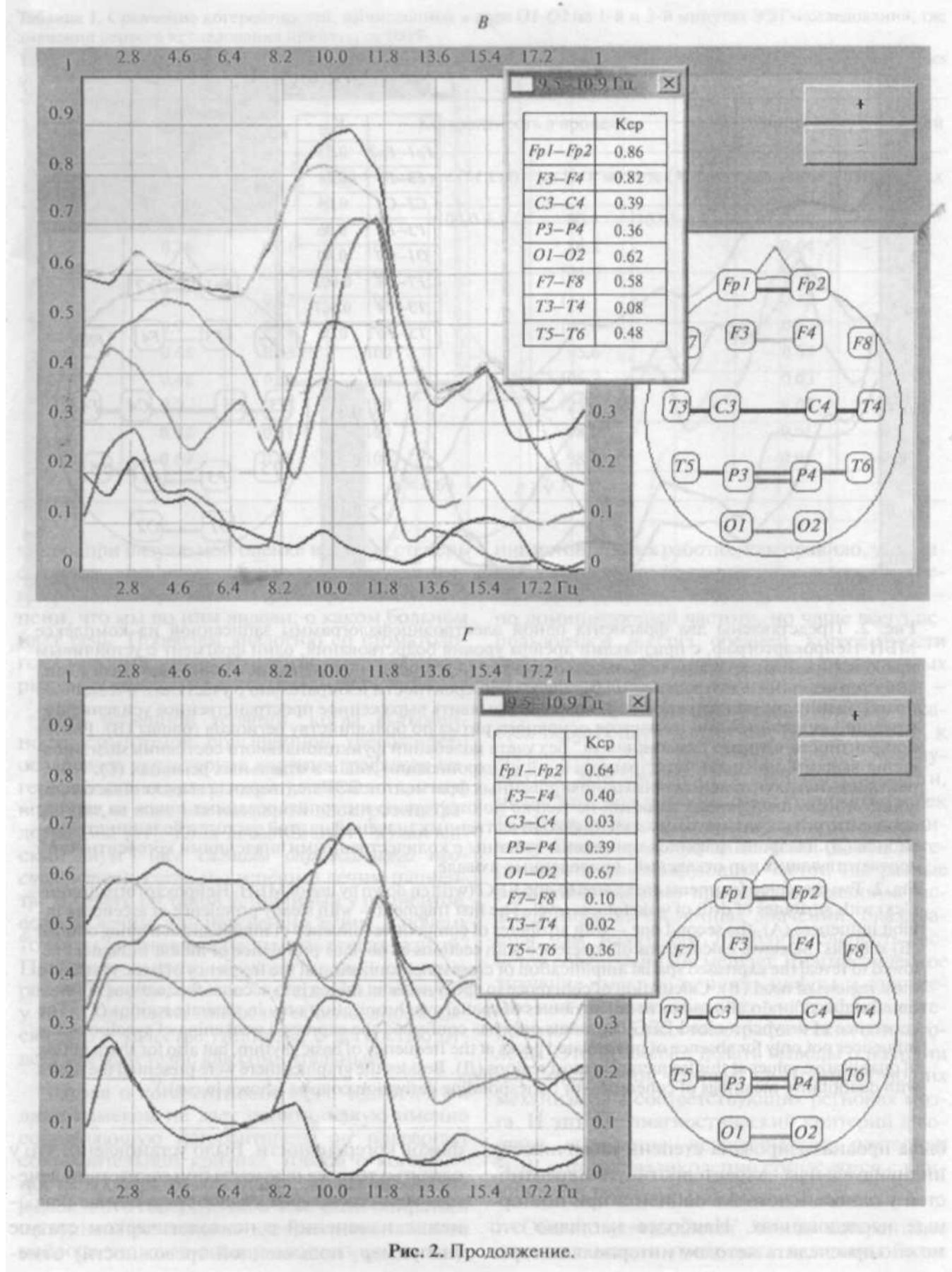


Рис. 2.



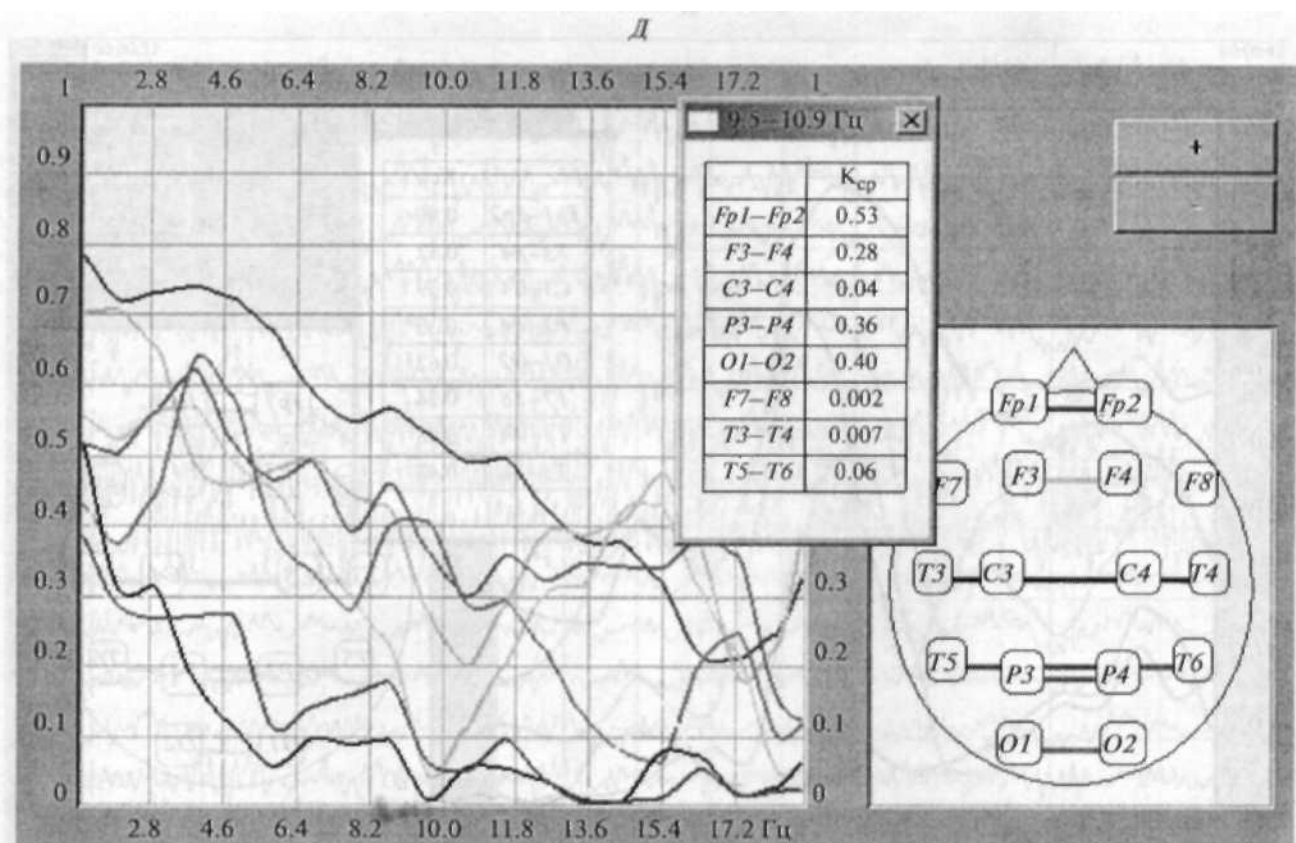


Рис. 2. Представлены два фрагмента одной электроэнцефалограммы записанной на комплексе МБН-Нейрокартограф, с признаками дрейфа уровня бодрствования, один фрагмент с устойчивым преобладанием восходящих тормозящих влияний (А), второй — с признаками конкурирующего влияния тормозящих и активирующих (Б). Расчет когерентности избирательно с участками очевидного преобладания тормозящих влияний позволяет выявить выраженное пространственное усиление поперечной синхронизации на частоте основного ритма по большинству регионов головы (В). Расчет когерентности в эпохах “сплошняком” без учета колебаний функционального состояния мозга позволил выявить признаки пространственной синхронизации лишь в отдельных регионах (Г). Когерентность исключительно десинхронизированных фрагментов ЭЭГ подтвердила выраженное ослабление синхронизирующих влияний не только по отсутствию интерполированных пиков на частоте основного ритма, но и резкому падению количественных значений на этой частоте в большинстве регионов (Д). На фоне графиков приведены таблицы с количественными значениями когерентностей соответствующих пар отведений, приведенных в овале.

Fig. 2. Two presented fragments are related to one EEG (written down by use of МБН-Нейрокартограф complex) with attributes of drift of wakefulness level. The first fragment — with steady prevalence of ascending inhibit influences (A), the second one — with attributes of competitive influence of inhibit and activating control (B) submits. Selective calculations of coherence with sections of obvious prevalence of inhibit influences allowed to reveal the expressed spatial amplification of cross synchronization at the frequency of basic rhythm in most regions of head (B). Calculation of coherence in epoch without taking into account fluctuations of functional status of brain allowed to reveal attributes of spatial synchronization only in separate regions (Г). The coherence of desynchronized EEG fragments only has confirmed the expressed weakening of synchronizing influences not only for absence of interpolated peaks at the frequency of basic rhythm, but also for sharp falling of quantitative values at this frequency in most regions (Д). Besides the graphics there were presented the tables with quantitative meanings of coherence for corresponding derivation couples (shown in ovals).

была проанализирована степень устойчивости индивидуальных характеристик когерентностей у одного и того же пациента при повторных исследованиях. Наиболее наглядно это можно проследить методом интерполяции гра-

фиков когерентности. Было установлено, что у одного и того же пациента при отсутствии лечения или его неэффективности в случае сохранения изменений в психологическом статусе (например, повышенной тревожности) отме-

Таблица 1. Сравнение когерентностей, вычисленных в паре *O1-O2* на 1-й и 3-й минутах ЭЭГ-исследования, где значения первого исследования приняты за 100%

Table 1. Comparison of the coherencies calculated for *O1-O2* pair at the first and third minutes of EEG test where the values of the first research was accepted as 100%

№ исследования	Значения когерентностей		Когерентность в процентах				Разница когерентностей	
	на 1-й минуте	на 2-й минуте	на 1-й минуте ($M \pm m$)		на 12-й минуте ($M \pm m$)		значения	в процентах
1	0.55	0.5	100	100.0 ± 0.0	90.1	102.5 ± 3.66	-0.05	-9.9
2	0.36	0.31	100		86.2		-0.04	-13.8
3	0.42	0.44	100		104.7		0.02	4.7
4	0.7	0.82	100		117.1		0.12	17.1
5	0.7	0.72	100		102.8		0.02	2.8
6	0.68	0.65	100		95.6		-0.05	-4.4
7	0.48	0.51	100		106.2		0.03	6.25
8	0.2	0.25	100		125		0.05	25
9	0.82	0.81	100		98.7		-0.01	-1.3
10	0.69	0.68	100		98.5		-0.01	-1.5
			$t = 0.69$		$p > 0.1$			

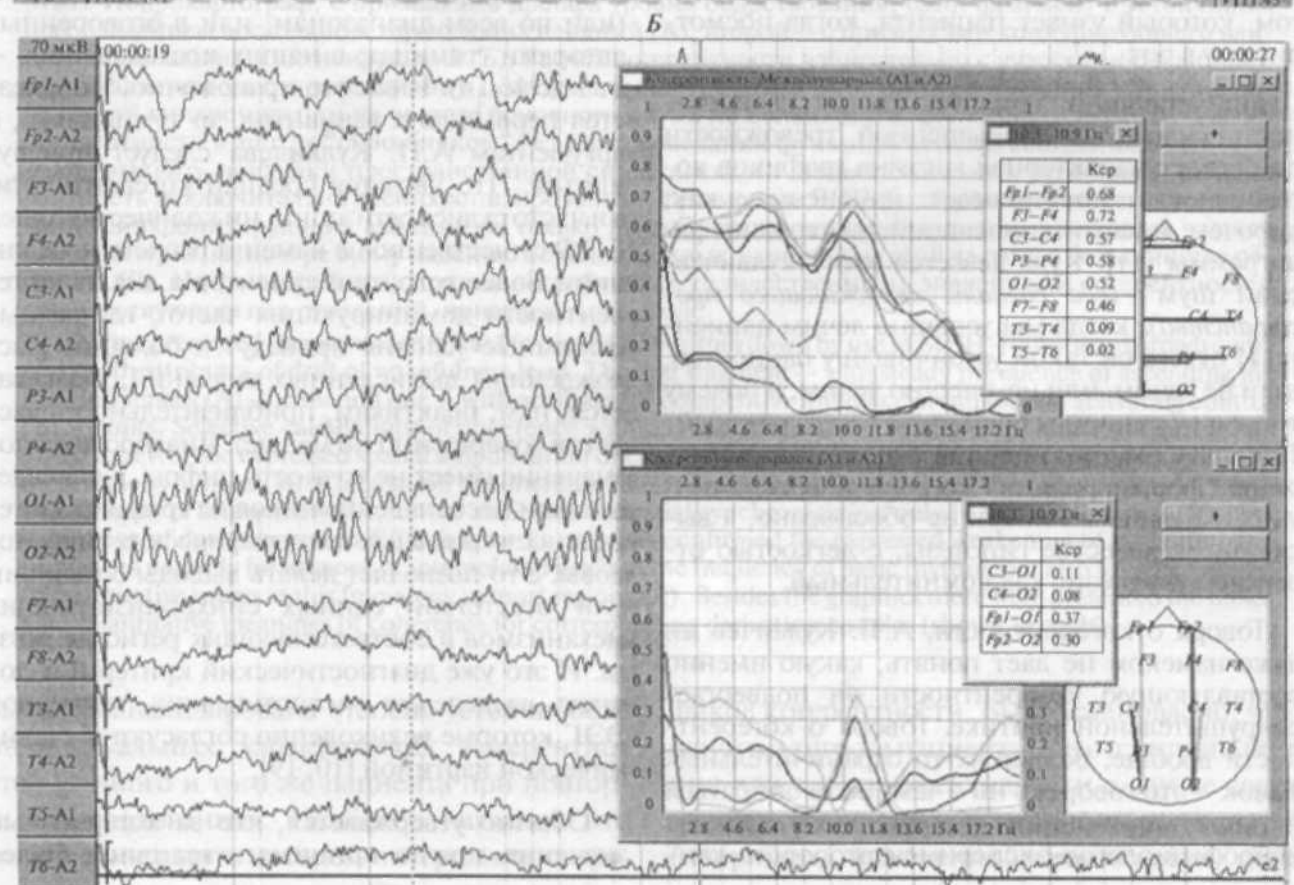
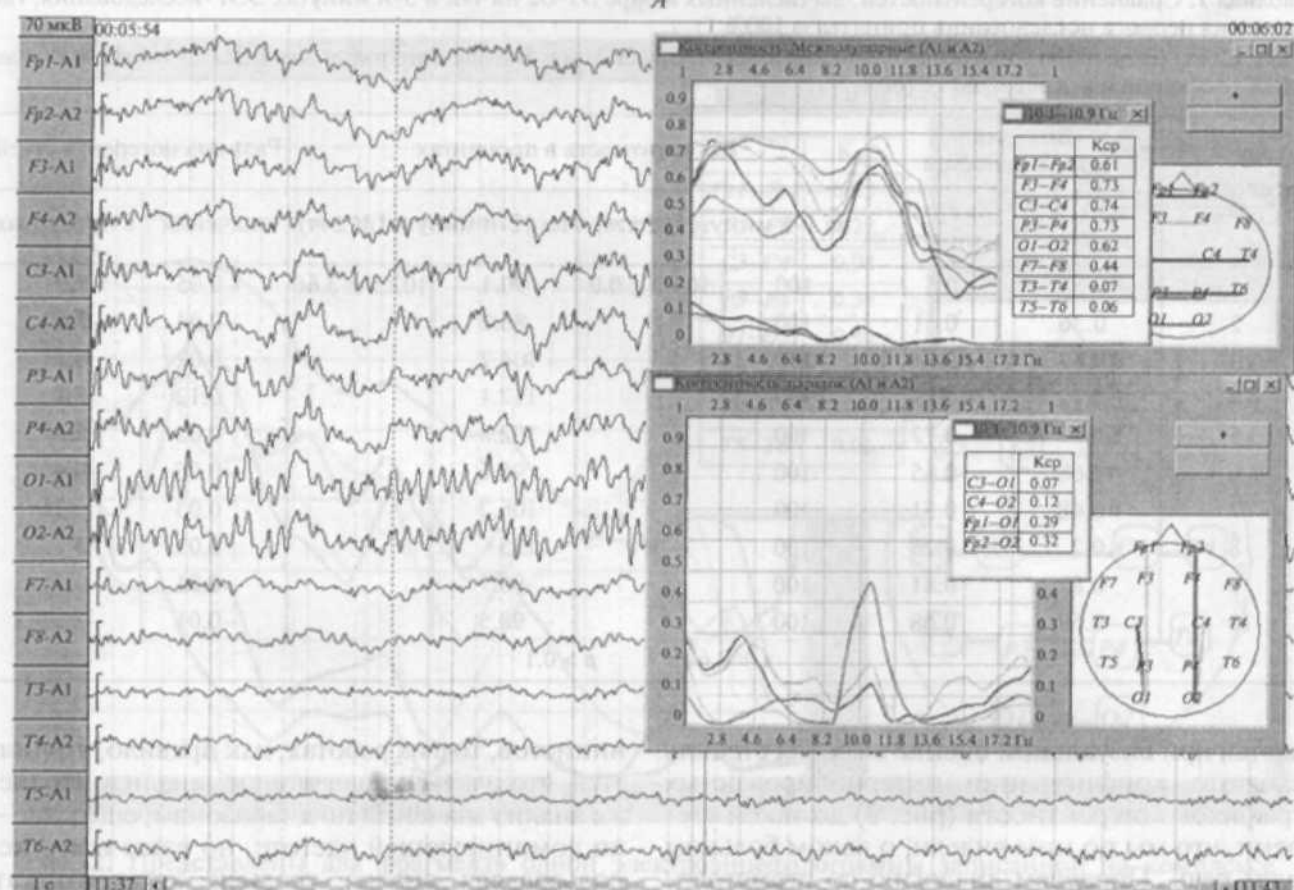
чается при визуальной оценке высокая степень сходства конфигурации интерполированных графиков когерентности (рис. 3) до такой степени, что мы по ним видели, о каком больном идет речь. Проведем аналогию со стоматологом, который узнает пациента, когда посмотрит ему в рот.

При успешной терапии, когда выраженность симптомов повышенной тревожности ослабевает, характерная картина графиков когерентности претерпевает изменения, как, впрочем, и картина нативной электроэнцефалограммы [11]. Куда девается этот "кулаичев-ский шум" **{все сигналы окружающего пространства}**, когда мы успешно лечим пациента. И отчего он такой устойчивый у пациентов, если не лечим, или неуспешно лечим, и почему тогда он у различных пациентов всегда разный? Поскольку именно наличие "шума", как генератора "формирования" когерентных величин у А.П. Кулаичева никак не обосновано, а высказано в качестве гипотезы, с легкостью отвергнем этот тезис как сомнительный.

Говоря о когерентности, А.П. Кулаичев ни даже намеком не дает понять, какую именно составляющую когерентности он подвергает сокрушительной критике. Говоря о когерентности вообще, без каких-то ограничительных рамок — это говорить ни о чем. Если опираться на опыт применения когерентного анализа нейрофизиологов-экспериментаторов и клиницистов, то в их работах, как правило, уточняется, что именно подвергалось анализу. Это реже анализ значений по диапазонам, еще реже — по доминирующей частоте, но чаще всего использовался анализ средней когерентности (или по всем диапазонам, или в оговоренных авторами границах; в наших исследованиях — от 1 до 16 Гц). И все это правомочно.

Что касается первых двух вариантов, то тут, видимо, к аргументам А.П. Кулаичева следует прислушаться. Что касается средней когерентности, ни частота дискретизации, ни количество точек БПФ существенно не изменят расчетную величину. Более того, при акценте на анализ когерентности доминирующих частот, где разные режимные условия приведут к большим расхождениям вычисленных значений, оказывается, нам, практикам, приблизительность расчетов совершенно не мешает. Диагностическое значение имеет не точность цифры, а совпадение или несовпадение пиков на графиках когерентности в разных топографических зонах головы. Это позволяет делать выводы о наличии или отсутствии единых синхронизирующих механизмов в соответствующих регионах мозга. И это уже диагностический критерий в составе выделения невротических паттернов ЭЭГ, которые великолепно согласуются с клинической картиной [10, 19].

Обычно утверждается, что за когерентные значения можно принимать величины более **0.6**.



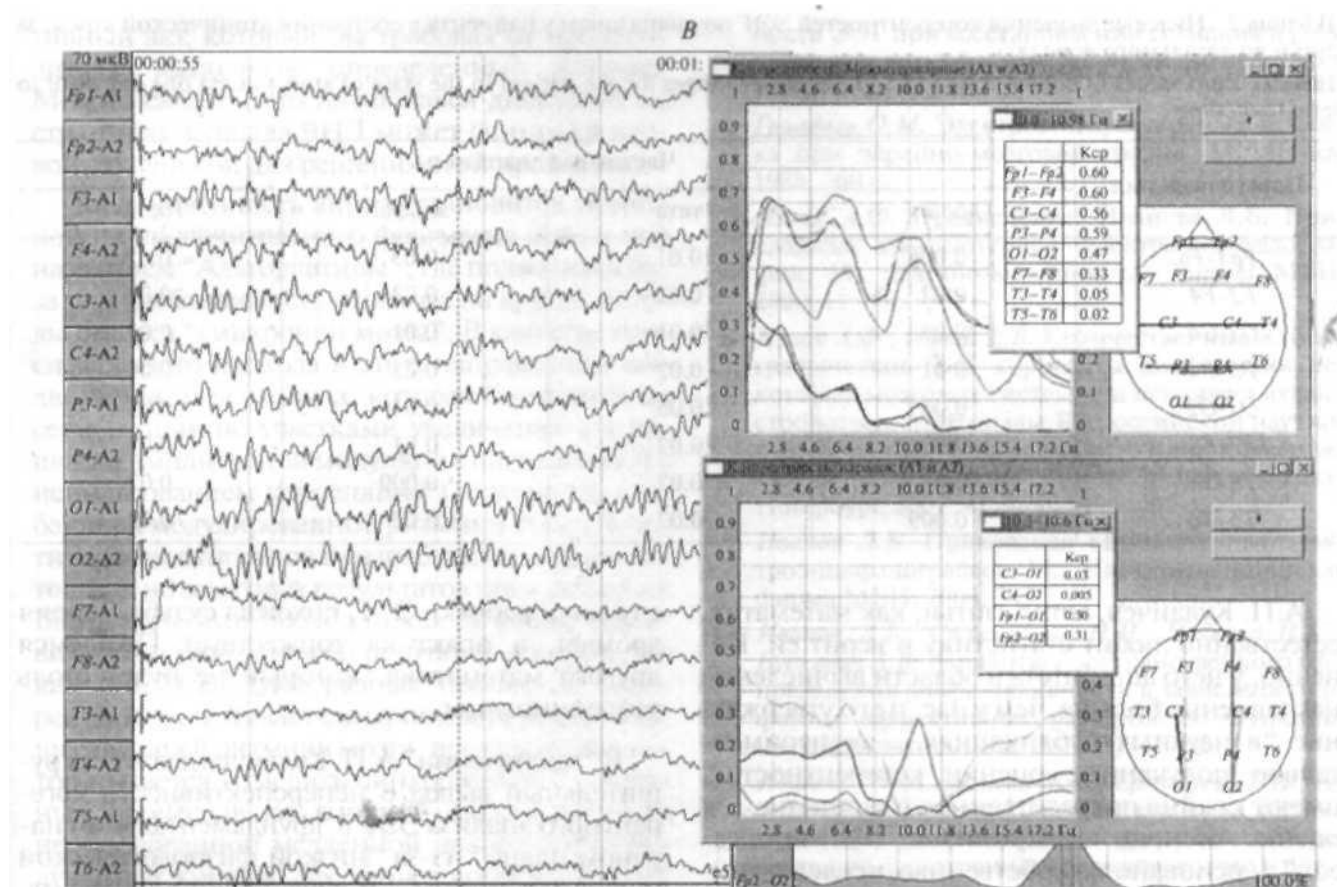


Рис. 3. Пациент В-ян А. Диагноз: Энурез. Невротические реакции. Приведены три ЭЭГ-исследования в динамике в разные сроки, выполненных на МБН-Нейрокартографе (Москва). Первое исследование от 23-04-09 (А), второе – от 19-06-09 (Б), третье от – 03-09-09 (Б). Обращает на себя внимание удивительное сходство не только нативной ЭЭГ, но и совмещенных графиков когерентности, что согласно концепции А.П. Кулаичева не должно быть. Обозначения как на рис. 2.

Fig. 3. The patient V-an A. Diagnosis: Enuresis. Neurosis. Three EEGs were carried out by use of MBN-Neurocartograph (Moscow) and presented in dynamics for different terms. The first research is related to 23-04-09 (A), the second one – to 19-06-09 (B), the third – to 03-09-09 (B). To our surprise there were noticed the similarity not only for EEG patterns, but also for combined coherence diagrams in spite of A.P. Kulaichev's concept. Symbols are the same as in fig. 2.

Что само по себе спорно. А.П. Кулаичев поднял планку до 0.7–0.8. Все, что ниже — некогерентно. Такое утверждение не вписывается в опыт клинического применения. Более того, для нас степень некогерентности, в ряде случаев, имеет даже большее значение, чем степень когерентности. На этом принципе успешно строится прогноз развития детского церебрального паралича у младенцев задолго до клинического проявления [9, 12], а также успешного выхода из длительного коматозного состояния или формирования вегетативного состояния и, наконец, в совокупности с другими признаками, делается заключение о приближении смерти мозга [11], когда констатируется нулевой уровень межполушарных отношений по вели-

чинам когерентностей, равных сотым и тысячным долям (табл. 2). И вот удивительно: "знаменитый кулаичевский шум" {все сигналы окружающего пространства} при этом вообще никак не проявляется. Между тем в условиях реанимационного отделения бушуют электромагнитные поля, так как в метре от пациента "пахтит" дыхательная аппаратура, "свистит" ультразвуковой ингалятор и "шумят" множественные мониторы и осветительные приборы. Не проявляется этот "шум" почему-то также у детей с нейросенсорной тугоухостью, у которых регистрируются избирательно крайне низкие значения когерентности межвисочных отношений в результате несформировавшихся речевых навыков [2].

Таблица 2. Нулевые значения когерентностей ЭЭГ по диапазонам у пациента в состоянии атонической комы, за сутки до летального исхода
Table 2. Zero values of coherencies in EEG frequency ranges for the patient in the state of atonic coma one day prior to lethal outcome

Пары отведений	Частотные диапазоны			
	дельта	тета	альфа	бета
<i>Fp1-Fp2</i>	0.006	0.01	0.03	0.02
<i>F3-F4</i>	0.02	0.02	0.03	0.02
<i>C3-C4</i>	0.01	0.01	0.01	0.02
<i>P3-P4</i>	0.01	0.02	0.02	0.04
<i>O1-O2</i>	0.04	0.05	0.04	0.05
<i>F7-F8</i>	0.004	0.02	0.01	0.03
<i>T3-T4</i>	0.05	0.02	0.009	0.02
<i>T5-T6</i>	0.009	0.02	0.02	0.02

А.П. Кулаичев, автор статьи, как математик, естественно любит статистику и верит ей. Конечно, у него авторитета в области вычислений несравненно больше, чем у нас, и его утверждение "в научных публикациях.... экспериментально полученные оценки когерентности... имеют крайне посредственное отношение ... к оценке степени синхронизма ЭЭГ-процес-сов" — основано на собственных исследованиях, и просто так не верить этому нельзя. Если бы этот тезис прозвучал лет 15—20 назад, то, может быть, ему бы удалось остановить (или задержать) клиническое развитие когерентного анализа ЭЭГ, но сегодня уже поздно. К счастью, другие авторы, физиологи и врачи, в силу необходимости также уважительно относятся к статистике и свои результаты проверяют на достоверность, правда, на другом уровне и другими средствами, прежде всего в сравнении с клиническими симптомами. Парадокс. С одной стороны, у А.П. Кулаичева "этого не может быть, потому что не может быть никогда", а с другой — у клиницистов, оказывается, все очень неплохо получается, и главное — достоверно воспроизводится. Электроэнцефалография как диагностический метод существует без малого столетие, но, несмотря на это, до сих пор точно не установлено окончательно, какими механизмами сформированы электрические колебания на поверхности скальпа. Теоретической базой их возникновения до сих пор служит идея о суммации нейронных разрядов, которая никогда никем не была подтверждена и, более того, опровергнута на математической модели Е.Л. Машеровым [16]. Тем не менее метод ЭЭГ все более и более становится клиническим. У когерентного анализа, как частного случая обработки ЭЭГ, похожая судьба. Теория хромает, а практика торжествует. Дождемся другого математика, который не будет столь тенденциозным.

В "заключении" А.П. Кулаичев делает сокрушительный вывод о неперспективности когерентного анализа ЭЭГ в "фундаментальном научном плане" из-за "низкой физиологической информативности". В качестве аргументов отмечены следующие пункты: 1) сильная подверженность влиянию множественных неконтролируемых случайных факторов; 2) неадекватность задачам исследования ЭЭГ; 3) сильная зависимость от установочных параметров, 4) несопоставимость получаемых результатов.

Комментируя эти аргументы по пункту первому, следует сказать, что из статьи не следует о множественности неконтролируемых факторов. Нам удалось отметить лишь один неконтролируемый фактор — сомнительный "кулаичевский шум", о котором мы уже говорили. По второму — сказать ничего нельзя, кроме того, что формулировка сама неадекватная. По пункту третьему возражений никаких, полное согласие с автором. Только непонятно, как это может служить аргументом против? Единственное, что вытекает из этого пункта, - необходимость унификации режимных условий выполнения когерентного анализа ЭЭГ. Это вполне преодолимое препятствие. Четвертый пункт — это действительно серьезная проблема (несопоставимость результатов исследования в программах разных производителей). Для преодоления этого препятствия потребуются существенные усилия, чтобы привести к единому знаменателю. Необходим некоторый нормативный акт, который бы требовал от производителя выполнять определенные условия. Можно сказать, что начавшаяся дискуссия на страницах журнала ВНД может считаться первой ступенькой для решения этой проблемы.

Тенденциозность автора становится понятной из заключительного фрагмента статьи под названием "Альтернативы", где подводится база под необходимость перехода на другие методы оценки "синхронии мозга". В качестве перспективного подхода в этом направлении выдвигается идея анализа, которая базируется на сегментации по участками увеличения-уменьшения амплитудной модуляции сигналов [13] с использованием корреляции Пирсона по огибающей модулированной ритмики. Автор с оптимизмом относится к разрабатываемой им методике, но заметных результатов пока не видно. Более того, этот подход никак не может составить конкуренцию когерентному анализу, так как они исследуют разные процессы. Когерентность оценивает синхронность реально существующей ритмики мозга, предлагаемый метод пытается измерить синхронность глобальных процессов по спорной физиологически необоснованной медленной искусственно полученной кривой. Так что когерентность ЭЭГ еще рано хоронить (скорее поздно — слишком уж она глубоко укоренилась в клиническую электроэнцефалографию, а главное — успешно). Однако "лечить" ее нужно, чем собственно мы в настоящее время и занимаемся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болдырева Т.Н.* Электрическая активность мозга человека при поражении дисэнцефальных и лимбических структур. М.: Наука, 2000. 181 с.
2. *Будкевич А.В., Иванов Л.Б., Джанумова Г.М., Тарасова Т.Д.* Особенности формирования межвисочной когерентности у детей, страдающих нейросенсорной тугоухостью. Функциональная диагностика. 2009(1): 56-60.
3. *Будкевич А.В., Иванов Л.Б., Зыков В.П.* Динамика спектрального и когерентного анализа ЭЭГ на этапах лечения тиков и синдрома Туретта у детей методом аудиовизуальной стимуляции. Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Количественная ЭЭГ и нейротерапия", 15—16 октября. Санкт-Петербург, 2007: 118-119.
4. *Гриндель О.М.* Оптимальный уровень когерентности ЭЭГ и его значение в оценке функционального состояния головного мозга. Журн. высш. нерв. деят. 1963. 13(4): 577-584.
5. *Гриндель О.М.* Межцентральные отношения в коре головного мозга по показателю когерентности ЭЭГ при восстановлении сознания и речи после длительной комы. Журн. высш. нерв. деят. 1980. 30(1): 60-67.
6. *Гриндель О.М.* Электроэнцефалограмма человека при черепно-мозговой травме. М.: Наука, 1988. 200 с.
7. *Изнак А.Ф.* Предисловие. Иванова Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография. М.: Научно-медицинская фирма МБН, 2000: 11-19. '
8. *Изнак А.Ф., Изнак Е.В.* Количественные и топографические ЭЭГ-корреляты дисфункции некоторых мозговых систем при психических расстройствах. Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Количественная ЭЭГ и нейротерапия", 15-16 октября. Санкт-Петербург, 2007:41.
9. *Иванов Л.Б.* Прикладная компьютерная электроэнцефалография. М.: Научно-медицинская фирма МБН, 2004: 345.
10. *Иванов Л.Б., Стрекалина Н.Н., Чулкова Н.Ю., Будкевич А.В.* Варианты пространственного распределения апфа-активности в зависимости от формы аффективных расстройств. Функциональная диагностика. 2009 (1): 41—50.
11. *Иванов Л.Б., Селезнева Ж.В., Ермолаева Т.П., Гегуева Е.Н.* Прогностическое значение оценки межполушарных связей при длительных бессознательных состояниях травматического и гипоксического генеза у детей (по данным когерентного анализа ЭЭГ). Функциональная диагностика. 2009 (3): 29-43.
12. *Иванова Е.Л., Сахно Ю.Ф., Иванов Л.Б.* Формирование внутримозговой интеграции по данным когерентного анализа ЭЭГ и становление психомоторных функций у недоношенных детей в норме и при перивентрикулярной лейкомаляции. Функциональная диагностика. 2003 (1): 86-92.
13. *Капар А.А., Борисов С.В., Шишкин С.Л., Ермолаев В.А.* Анализ сегментной структуры альфа-активности ЭЭГ человека. Рос. физиол. журн. 2002 (4): 8495-8497.
14. *Кулаицев А.П.* Погрешности когерентного анализа ЭЭГ. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции "Количественная ЭЭГ и нейротерапия", 27—29 — апреля. Санкт-Петербург, 2009: 31.
15. *Ливанов М.Н.* Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М.: Наука, 1989: 186— 209.
16. *Маширов Е.Л.* Происхождение низкочастотной компоненты биопотенциалов мозга. Иванова Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография. М.: Научно-медицинская фирма МБН, 2000: 232-241.
17. *Мельникова Т.С., Лапин И.А., Юркин М.М., Митрофанов А.А., Краснов В.Н., Крюков В. В.* Динамика когерентных взаимосвязей на разных стадиях

- формирования психоорганического синдрома. Функциональная диагностика. 2009 (1): 36-41.
18. *Пилина Г.С., Белоусова Е.Д., Киселев А.В., Шнайдер Н.А.* Динамика нейрофизиологических показателей при лечении методом адаптивной саморегуляции с использованием ЧСС-сигнала обратной связи у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью. Функциональная диагностика. 2006 (1): 49—56.
19. *Стрекалина Н.Н., Иванов Л.Б., Чулкова Н.Ю., Виноградов А.А.* Оценка эффективности терапии аффективного расстройств методом спектрально-когерентного анализа ЭЭГ. Современные аспекты клинической нейрофизиологии и эпилептологии. Материалы Юбилейной конференции, посвященной 10-летию Красноярского краевого общества клинических нейрофизиологов, 14-15 марта. Красноярск, 2008: 69-70.
20. *Abdul-Lalif A., Cosic I., Kumar D., Polus B., Pah N., Djuwari D.* EEG coherence between right and left motor cortical areas during voluntary muscular contraction. Austrtralasian Phys. and Eng. Sei. Med. 2000. 27(1): 11-15.
21. *Adey W.R., Waller D.O.* Application of phase detection and averaging techniques in computer analysis of EEG records in the cat. Exper. Neurol. 1963. 7: 186-209.
22. *Goodman N.R.* Measuring amplitude and phase. J. Franklin Inst. 1960. 270: 437-450.
23. *Hopper A., Ciorciari J., Johnson G., Spensley J., Sergejev A., Stough C.* EEG coherence and Dissociative identity disorder: comparing EEG coherence in DID hosts, alters, controls and acted alters. Eur. J. Neurosci. 2003. 18(6): 1711-1716.
24. *Murias M., Swepson J., Srinivasan R.* Functional connectivity of frontal cortex in Healthy and ADHD children reflected in EEG coherence. Oxford: Oxford Univ. Press. 2006: 123-129.
25. *Walter D.O.* Spectral analysis for electroencephalograms: Mathematical determination of neurophysiological relationships from records of limited duration. Exper. Neurol. 1963. 8: 155-181.