

Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Перспективы и проблемы применения когерентного анализа в практике ЭЭГ (лекция первая)

Л. Б. Иванов

КДЦ при Детской городской клинической больницы № 9 имени Г. Н. Сперанского, Москва

РЕЗЮМЕ

В лекции автор подробно анализирует правомерность использования функции когерентности для анализа биоэлектрической активности головного мозга в практической электроэнцефалографии с позиции математической и клинической обоснованности. Автор затрагивает вопросы информационной значимости показателей когерентности в ЭЭГ в раскрытии в оценки функционального состояния головного мозга в свете ментальных особенностей человека. В качестве доказательной базы автор демонстрирует примеры информативности данных когерентного анализа ЭЭГ в плане построения прогноза исхода у пациентов в бессознательном состоянии. Автором описаны этапы формирования внутримозговых связей по данным когерентного анализа ЭЭГ на этапах возрастного становления на модели грудного детей возраста, после срочных родов и у недоношенных с благоприятным течением развития и становление пространственно-временных отношений ЭЭГ недоношенных детей при перивентрикулярной лейкомаляции на 1–2-м годах жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЭГ, когерентный анализ, бессознательные состояния, апаллический синдром, грудные дети, недоношенные дети, детский церебральный паралич.

Coherence analysis in electroencephalography. Prospects and problems of using coherent analysis in EEG practice (lecture one)

L. B. Ivanov

КДЦ при Детской городской клинической больницы № 9 имени Г. Н. Сперанского, Москва

SUMMARY

In the lecture, the author analyzes in detail the legitimacy of using the coherence function to analyze the bioelectrical activity of the brain in practical electroencephalography from the standpoint of mathematical and clinical validity. The author touches upon the issues of the informational significance of EEG coherence indicators in the disclosure in the assessment of the functional state of the brain about the mental characteristics of a person. As an evidence base, the author demonstrates examples of the information content of EEG coherence analysis data in terms of predicting the outcome in patients in an unconscious state. The author describes the stages of the formation of intracerebral connections according to the data of coherent analysis of the EEG at the stages of age-related development on the model of infants of age, after term birth and in preterm infants with a favorable course of development, and also the formation of spatio-temporal relations of the EEG of premature infants with periventricular leukomalacia on the 1st — 2nd years of life.

KEYWORDS: EEG, coherent analysis, unconscious states, apallic syndrome, infants, premature babies, cerebral palsy.

На сегодняшний день более запутанной темы, как применение метода когерентного анализа в практической электроэнцефалографии, наверное, нет. Несмотря на множество публикаций оптимистической направленности на эту тему в разных областях медицинских дисциплин, все эти публикации исходят преимущественно из научно-исследовательских институтов и по завершению запланированной темы остаются исключительно на страницах диссертационных работ и медицинских журналов. И хотя выводы из этих публикаций свидетельствуют о высокой клинической значимости данного метода анализа, в практическую нейрофизиологию они никак не внедряются.

При этом нельзя сказать, что практические электроэнцефалографисты все поголовно не понимают о чем идет речь (хотя и это имеет место) или сопротивляются, поскольку не хотят себя утруждать дополнительной «канителью». Отнюдь нет, некоторые, кто погружен не в диагностику эпилепсии, а в расстройство ментальных функций, проходят специально дополнительную обучение, причем исключительно по собственной инициативе (что указывает на востребованность этой методики!), но КПД от этого обучения крайне низок. Попробуем разобраться в причинах.

Такое явление, как консерватизм врачебной аудитории, стремящейся избегать освоения всяких новшеств,

является общей и мы ее подробно рассмотрели в лекциях на модели спектрального анализа мощности ЭЭГ (7), поэтому опустим ее и обратимся сразу к реальным проблемам практического освоения когерентного анализа.

Таких проблем, видится нам, пять.

Первая, это незакончена дискуссия о правомерности существования самой методики когерентности в практической ЭЭГ с позиции математической обоснованности,

Вторая, — недостаточное понимание, собственно, какую информационную значимость эта самая когерентность в ЭЭГ раскрывает в оценки функционального состояния головного мозга в свете ментальных особенностей человека.

Третья, «невменяемость» программного обеспечения компьютерных электроэнцефалографических комплексов большинства отечественных производителей касательно количественной обработки ЭЭГ, в том числе метода когерентного анализа.

Четвертая — отсутствие удобного адаптированного алгоритма анализа количественных показателей вычисленных когерентностей.

Пятая — отсутствие единого понятного способа отображения результатов данных когерентного анализа и их трактовки.

О ПРАВОМЕРНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ КОГЕРЕНТНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Определение когерентности. Когерентность (от лат. *cohaerens* — «находящийся в связи») — в физике скоррелированность (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени, и при сложении колебаний получается колебание той же частоты. Когерентность волны означает, что в различных пространственных точках волны колебания происходят синхронно, то есть разность фаз между двумя точками не зависит от времени.

Предпосылки для развития когерентного анализа в ЭЭГ. Классический пример — это два синусоидальных колебания одинаковой частоты. В природе, касательно биоэлектрической активности головного мозга, в силу квазистационарности ЭЭГ двух синусоидальных колебаний не существует, поэтому осуществляется сравнение приблизительно (с большим допуском) синусоидальных колебаний.

Тем не менее, это было взято за основание попытаться использовать данный метод математического анализа для исследования деятельности головного мозга недоступной ранее при визуальной оценке биоэлектрической активности, в плане функциональной связанности разных мозговых структур между собой в норме и патологии. Желание вполне естественное, ибо каждый знает о мириаде проводящих путей в головном мозге в разных направлениях, задача которых именно функционально связывать между собой как отдельные нейроны, так и организованные специализированные центры. Когерентность, казалось, подарок возможностей по решению этой проблемы.

Естественно, никому в голову не приходило проводить полную аналогию между проведением сигнала по аксонам и показателями уровня связанности вычисленной методом когерентного анализа. Помимо волоконной связи между регионами мозга и разрядной активности подлежащих групп нейронов в формирование электрического сигнала на конвекции черепа имеется большой вклад объемной проводимости потенциала, прежде всего его вектора. Тем не менее совокупность механизма формирования локальной картины ЭЭГ одной зоны может быть оценена и сравнена с другой зоной методом когерентного анализа. Перспектива такой возможности для экспериментальной и особенно практической электроэнцефалографии казалась крайне заманчивой и исследовательские работы посыпались как из рога изобилия.

Формула когерентности применительно к электрофизиологии впервые была приведена в работах Адея [15]. Одна из первых работ в отечественной литературе принадлежит О. М. Гриндель [3, 4, 5]. Она исследовала межполушарные отношения при тяжелой черепно-мозговой травме и получила очень обнадеживающие результаты в плане клинической информативности. Оказалось, что при травме несовместимой с жизнью полностью нарушается межполушарное взаимодействие биоэлектрической активности

головного мозга. Это сейчас этим никого не удивишь: ударил по нужным клавишам на клавиатуре и графики когерентностей по всем выбранным парам уже сверкают на мониторе. Тогда, на вычислительных машинах первого поколения, которая занимала помещение комнаты 10 на 10 метров, только функциональную связь одной пары вычисление длилось около суток. Это же какое мужество и терпение требовалось, чтобы получить данные по всем межполушарным парам.

В то время такая высокая математика в электроэнцефалографии воспринималась как некое баловство элитных нейрофизиологических лабораторий, далеких от конкретных задач практической медицины. Ничего кроме любопытства не вызывало. О внедрении достижений в этой области в клиническую практику не только не могло быть и речи, но и в перспективах такое никому в голову не приходило. Балуются профессора и пусть балуются.

С появлением компьютерной техники в нейрофизиологии программные продукты ЭЭГ комплексов стали включать в ассортимент возможных количественных методов анализа биоэлектрической активности головного мозга когерентный анализ. Появилось значительное количество публикаций практической направленности, указывающих на диагностическую привлекательность данных новых возможностей. Однако все публикации принадлежат преимущественно научно-исследовательским институтам, а до практического применения метод когерентности никак не доходит. Причин этому много.

О ПРАВОМЕРНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ САМОЙ МЕТОДИКИ КОГЕРЕНТНОСТИ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭЭГ С ПОЗИЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБОСНОВАННОСТИ

Одна из основных позиций слабой обоснованности применения метода когерентности в ЭЭГ, как уже упоминалось, «неправильная» синусоидальность гармоник колебаний электрического сигнала в головном мозге. Тем не менее, в компьютерные системы анализ когерентности встроен и исследователи им пользовались и как видно из публикаций достаточно успешно.

На определенном этапе появились работы, категорически отрицающие возможность использования этого метода в ЭЭГ, указывая на математическую некорректность вычисления показателей когерентности и преждевременность внедрения его в клиническую практику. Наиболее агрессивную позицию занял некий математик А. П. Кулаичев. Он утверждал, что многосторонний обзор недостатков функции когерентности не позволяет рассматривать этот метод в качестве надежного индикатора степени синхронизма ЭЭГ-процессов. Открылась дискуссия на страницах журнала ВНД между теоретиком и практиком [8, 11]. Спорить с математиком нематематику на поле первого бесполезное дело. Поэтому дискуссия пошла не по пути 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.

История знает много фактов, в которых расчеты предсказывали одно, а в эксперименте обнаруживалось совершенно другое. Значит, рассудить нас может «его величество факт», т.е. опыт и время. С момента дискуссии прошло более десяти лет. Позицию математика никто не поддержал, а позиция практика обогатилась огромным количеством публикаций на попроще успешного клинического применения метода когерентности.

Справедливости ради следует упомянуть о критических высказываниях другого математика некоторых спорных моментах в методике когерентного анализа, но речь в его высказываниях не ставилась о неправомерности его использования. Более того им самим написана программа когерентного анализа. Дискуссия как таковая не закрыта, но и на право жить методике когерентного анализа ЭЭГ уже никто не покушается.

ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОГЕРЕНТНОСТИ В ЭЭГ В РАСКРЫТИИ В ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА В СВЕТЕ МЕНТАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Функциональные связи в головном мозге человека лежат в основе деятельности центральной нервной системы, как в норме, так и в патологии. Объективизировать их состояние вполне заманчивая цель. Сами связи в живом организме мы «потрогать руками» не можем. Нам доступно их изучать какими-то косвенными путями. Одина из таких возможностей — это оценивать степень «родства» электрических сигналов на разных участках поверхности головы.

Тут мы должны сначала остановиться на целом ряде парадоксов и допусков. Первый из них это очень туманное представление о природе самих электрических процессов в головном мозге. Наиболее раскрученная теория Пурпуры, построенная на домыслах о суммации подлежащих под снимающим электродом нейронных разрядов поверхностных отделов мозга, многократно проверялась и ни разу не подтвердилась [13]. А если бы это произошло и в основе локальной биоэлектрической активности головного мозга оказалась бы нейронная разрядная активность, то, полагаю, в этом случае, не нашлось бы места для обоснования применения когерентного анализа, ибо ни о каких отдаленных связях местной суммацией нейронных разрядов разных регионов мечтать не приходится.

Дендритная теория происхождения поверхностных потенциалов на скальпе по идее намного патогномичнее вероятности изучения отдаленных связей, поскольку это по сути уже связь. Что мы знаем об этом? Не так уж много. Если только иметь в виду роль знаменитой таламо-кортико-таламической петли в происхождении

альфа и тета волн [1]. Это не так уж мало, но и недостаточно, чтобы увероваться в обоснованности когерентного анализа для изучения состояния внутримозговой связанности. И, наконец, обсудим роль объемного проведения электрического сигнала по электролитной массе головного мозга. Факт объемной проводимости имеет существенное значение для распространения электрического сигнала внутри мозга. Некоторые исследователи считают этот факт трудно преодолимым препятствием, чтобы изучать «истинную когерентность» и предлагают для этого спаренные электроды в одной локализации, чтобы исключить влияние объемной когерентности. Идея это, конечно, интересная, но неперспективная из-за повышения громоздкости процесса самого исследования, а главное ошибочности понимания объемной проводимости как факта препятствующего получения истинных показателей когерентности. Сомнения эти не понятны, так как вся биоэлектрическая активность головного мозга, представленная в виде электроэнцефалографии и есть результат суммации множества «объемных проводимостей» от бесконечного количества источников генерации биоэлектрического сигнала мозга. Так, что полагаю, вполне логично изучать связи известным методом когерентности.

Из сказанного следует принять, что изучая связи методом когерентности, мы устанавливаем степень физического родства поверхностных электрических потенциалов, а не, как бы нам это хотелось «напрямую», функциональные связи между различными центрами головного мозга. Тем не менее, гипотетически, мы допускаем, что эти электрические связи, в какой-то мере отражают и функциональные связи между регионами мозга, иначе не было смысла возиться с такой непростой методикой анализа.

Единственное, что нам по силам, это верифицировать полученные количественные показатели когерентности с группами пациентов объединенных той или иной родственной клинической картиной. И это опыт достаточно богат и убедителен.

Физиологическую направленность методу когерентности дали работы М. Н. Ливанова [12]. С этого периода началось накопление опыта клинического применения метода когерентности для оценки состояния мозговых связей в норме и патологии [2, 14]. Первые убедительные данные о полезности использования когерентного анализа ЭЭГ в клинике на модели бессознательного состояния у пациентов с тяжелой черепно-мозговой представлены О. М. Гриндель [4, 5], которые фактически явились трамплином для целой серии исследований использования метода когерентного анализа ЭЭГ.

Строить прогноз при длительных бессознательных состояниях после черепно-мозговой травмы по клинической картине и даже обычной электроэнцефалограмме достаточно сложно. Клинической картины для этого недостаточно. Возлагались надежды на электроэнцефалографию в традиционном варианте анализа. И действительно для оценки тяжести острой травмы, течения восстановительного периода данные ЭЭГ чрезвычайно полезны. Однако по визуальной картине ЭЭГ строить прогноз выхода из бессознательного состояния оказалось делом неблагоприятным.

Не помог этому и метод построения спектров мощности, так как он отражает, правда в более объективной форме, информацию, заложенную в нативной ЭЭГ (9).

Нередко, как исход тяжелой черепно-мозговой травмы, случается развитие апаллического синдрома (вегетативного состояния) или бодрствующей комы. Это состояние человека, вызванное нарушениями функций коры головного мозга, характеризуется утратой познавательных функций и полной безучастностью ко всему.

Значение когерентности в общем комплекс построения прогноза выхода из коматозного состояния или перехода в апаллический синдром изучены нами [8, 9] на модели 24 пациентов в возрасте от 2 до 14 лет с длительным бессознательным состоянием преимущественно травматического генеза.

НАГЛЯДНЫЕ ПРИМЕРЫ В ПЛАНЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА В ПЛАНЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗА ИСХОДА У ПАЦИЕНТОВ В БЕССОЗНАТЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

Наблюдение первое.

П. Данила, 4 г. Тяжелая закрытая черепно-мозговая травма. Ушиб головного мозга тяжелой степени с повреждением костей черепа. Отек головного мозга. Субдуральная гематома левой теменно-височной области.. Кома 9 баллов (по ШКГ). На ЭЭГ, выполненной на 10 сутки, доминирует диффузная медленная активность 2–5 Гц средней амплитуды. Значения межполушарной когерентности в лобных отделах (наиболее информативные отведения) крайне снижены (рис. 1).

На нативной ЭЭГ через 4 месяца отмечается ослабление выраженности дельта-активности со смещением доминирующей ритмики в тета-диапазон. Значения когерентности по парасагитальным межполушарным парам Fp1–Fp2 F3–F4 по сравнению с предшествующим исследованием имеют тенденцию к повышению (рис. 2).

Демонстрация данного наблюдения показывает высокую степень зависимости тяжести травмы, глубины и продолжительности бессознательного состояния и низких величин межполушарной когерентности. Динамика

Рисунок 1. Электроэнцефалограмма и показатели межполушарной когерентности на 10 сутки тяжелой закрытой черепно-мозговой травма ребенка, 4 г. Кома 9 баллов (по ШКГ). (Комментарии в тексте)

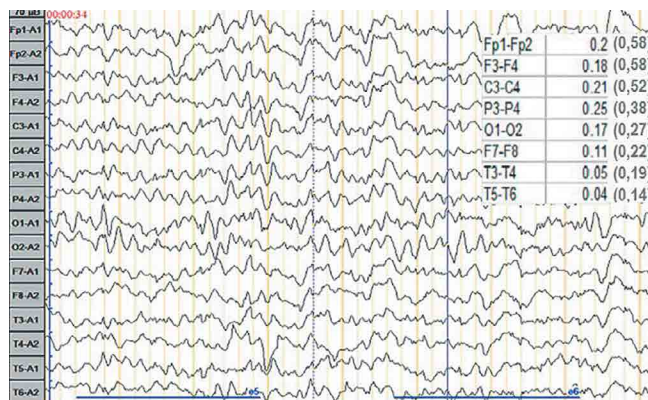
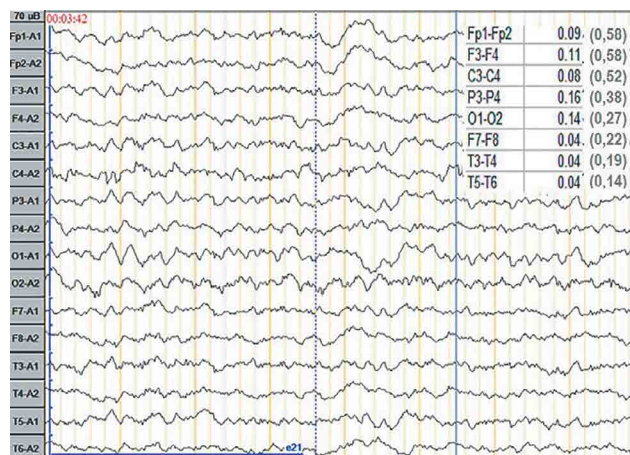


Рисунок 2. Электроэнцефалограмма через 4 месяца. Тот же пациент (комментарии в тексте)

их в сторону роста отмечалась по мере восстановления функции головного мозга.

Устойчиво низкие значения когерентности первоначально прогностически давали неопределенный результат, лишь при появлении тенденции к их росту вероятность благополучного исхода возросла, что и подтвердилось при последнем исследовании на четвертом месяце.

Наблюдение второе.

К. Вадим, 7 лет. Тяжелая открытая черепно-мозговая травма. Внутримозговая гематома левой лобно-височной области. Ушиб, отек головного мозга. Менингоэнцефалит. Апаллический синдром. Спастический тетрапарез. Псевдобульбарный синдром. Гиперкинетический синдром. ЭЭГ выполнена на 20 сутки после травмы доминирует диффузная недифференцированная медленная активность без зональных различий. Уровень межполушарных отношений по данным когерентного анализа крайне снижен практически до нулевых значений (рис. 3).

На ЭЭГ на 140 сутки после травмы регистрируется недифференцированная медленная ритмика. Показатели межполушарной когерентности остаются на крайне низком уровне. Тенденции к восстановлению внутримозговых связей отношений не наблюдается.

Третье наблюдение (с летальным исходом).

Яна, 4 года. Спаечная непроходимость, перитонит. Лапаротомия. Ребенок прооперирован в срочном порядке на фоне крайне тяжелого состояния в связи с поздним поступлением. Отек мозга. Постгипоксическая энцефалопатия. Атоническая кома. На ЭЭГ, выполненной на 2 сутки после операции, регистрируется уплощенная неопределенная ритмика с умеренной полушарной асимметрией. Значения межполушарной когерентности оказались на уровне сотых и тысячных долей (рис. 5).

Визуальный анализ биоэлектрической активности головного мозга по картине нативной ЭЭГ при бессознательном состоянии острого периода тяжелой черепно-мозговой травмы надежных оценочных и прогностических признаков не дает. В начале острого периода картина биотоков мозга достаточно сходна независимо от будущего исхода. Обычно, если не берем во внимания возможную картину электрического молчания, преобладают диффузные медленные волны разной степени выраженно-

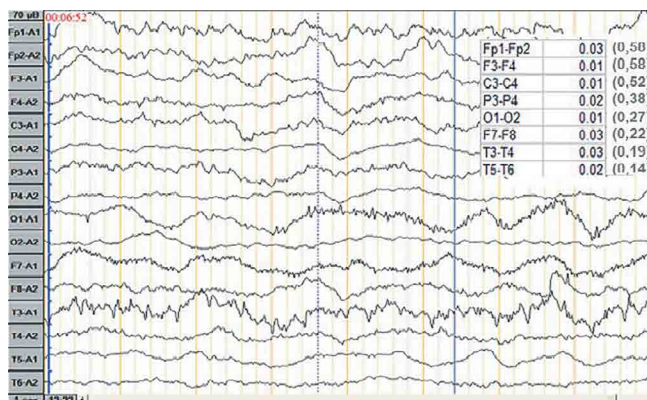


Рисунок 3. К. Вадим, 7 лет. Посттравматический апаллический синдром (комментарии в тексте)

сти. Из-за недостаточного накопленного клинического опыта на практике при построении прогноза исхода бессознательных состояний данные когерентного анализа не входят пока в круг обязательных оценочных критериев, но имеются убедительные данные о перспективности их учета в будущем.

При недлительных бессознательных состояниях, мы отмечали исходно достаточно высокий уровень сохранности внутримозговых связей, то при продолжительной коме при первом исследовании значения когерентности оказывались сниженными с вариациями от умеренного до крайне низкого уровня. Другими словами с прогностической точки зрения при первом исследовании получали неопределенный результат, хотя средние значения когерентностей по группе были несколько выше, чем во всех группах с плохим результатом.

При повторных исследованиях направленность изменений межполушарной когерентности имела четкую зависимость от будущего исхода бессознательного состояния. При хорошем и удовлетворительном результате имела место четкая тенденция роста значений когерентности, как свидетельство восстановления уровня межполушарных отношений. У детей с выходом в акинетический мутизм или в апаллический синдром и в отдаленные сроки (через 2–4 месяца и более) признаков восстановления уровня межполушарных связей не наблюдалось. Значения когерентностей оставались на низких цифрах.

Особняком стоят исследования с летальным исходом. При нарастании необратимых изменений в головном мозге, несмотря на сохранение какой-то неопределенной ритмики в нативной электроэнцефалограмме, значения межполушарной когерентности свидетельствуют о полном хаосе генерации электрической активности за счет разобщенной сети еще функционирующих отдельных локальных нейронных ассоциаций. Величины средних межполушарных когерентностей и по всем частотным диапазонам колебались в пределах сотых и даже тысячных долей, что никогда не наблюдается при сохранном, пусть и нарушенном, функциональном состоянии мозга (рис 6).

Из сказанного вытекает, что значения межполушарной когерентности в плане оценки глубины коматозного состояния и построения прогноза исходов, особенно при

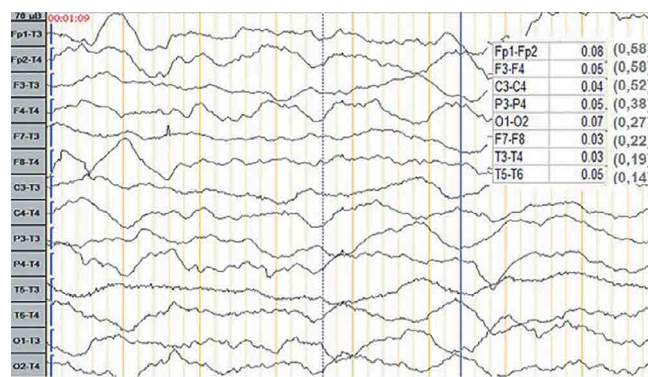


Рисунок 4. Продолжение к рисунку 3 (комментарии в тексте)

исследовании в динамике, могут быть вполне полезным и объективным критерием предсказанием течения бессознательного состояния, тем более.

Значения межполушарной когерентности ЭЭГ свидетельствуют о степени сохранности уровня межполушарных отношений. При глубоком расстройстве сознания на модели коматозного состояния отмечается выраженное снижение межполушарного взаимоотношения, что выражается низкими величинами когерентности.

ФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРИМОЗГОВЫХ СВЯЗЕЙ ПО ДАННЫМ КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА ЭЭГ НА ЭТАПАХ ВОЗРАСТНОГО СТАНОВЛЕНИЯ

Большинство практикующих электроэнцефалографистов меньше интересуют бессознательные состояния, так как они встречаются ежедневно с пациентами в плане сознания вполне сохраненных пациентов, но умеренными пограничными изменениями ментальных функций, например с при соматоформных расстройствах, вегетососудистых дисфункциях, синдроме дефицита внимания с гиперактивностью и так далее. Но прежде, чем остановиться на этих вопросах, наверное, целесообразно осветить нормативные показатели когерентности и этапы формирования внутримозговых связей в зависимости от возраста.

Клинически в 1–2 месяца двигательная активность ребенка характеризуется отсутствием целенаправленных

Рисунок 5. Яна, 4 года. Постгипоксическая энцефалопатия. Атоническая кома (комментарии в тексте)



Динамика средних значений межполушарной когерентности в паре Fr1-Fr2 у детей с длительным бессознательным состоянием по группам исходов по ШИГ

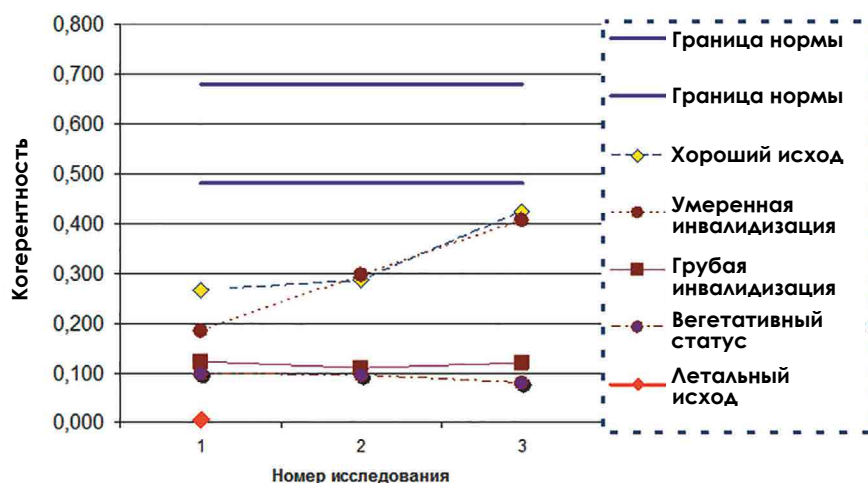


Рисунок 6. Динамика показателя межполушарной когерентности в паре Fr1-Fr2 в зависимости от исхода течения бессознательных состояний

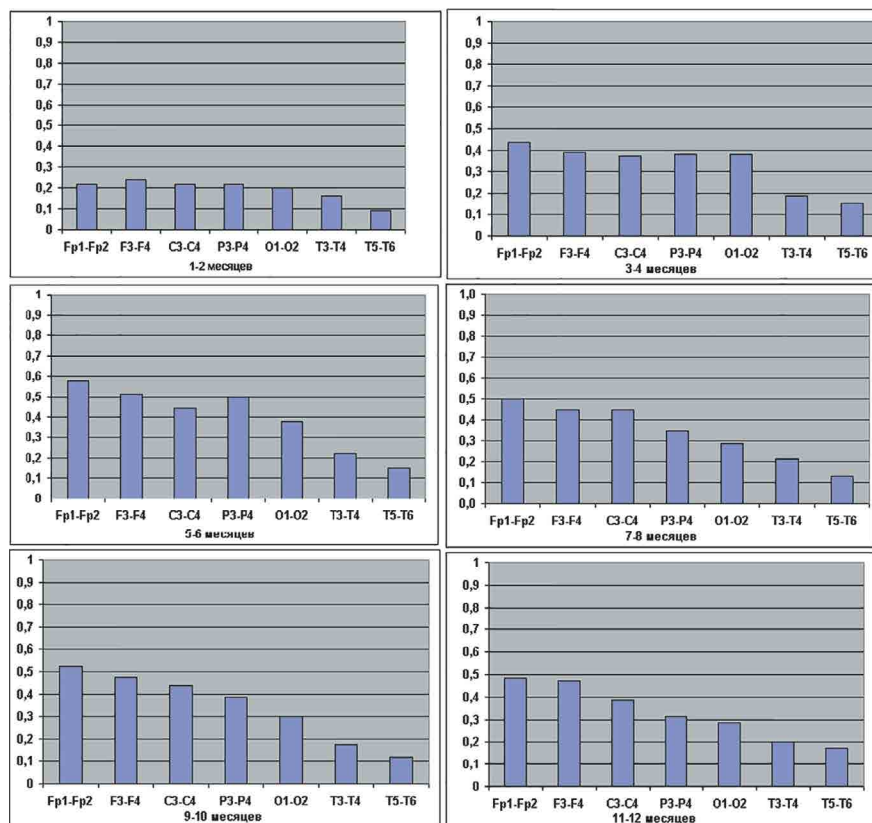
движений, генерализованной реакцией на афферентные раздражители.

На ЭЭГ в редкие эпизоды бодрствования регистрируется не дифференцированная медленная активность. Анализ же межполушарных отношений на 1–2 месяцах жизни показал полную разобщенность функционирования полушарий. Уровень средней когерентности во всех межполушарных парах был крайне низким на уровне 0,2 единиц (при возможных максимальных значениях равных 1,0), что объясняется еще несформированностью связями по транскортикальным путям. К третьему-четвертому месяцу они подрастают до 0,3–0,4 ед., а 5–6 месяцев достигают, если ориентироваться на максимальные значения, которые отмечаются в лобных отделах, то значения когерентности достигают максимального физиологического уровня в 0,5–0,6 ед. и остаются на этом уровне в последующие месяцы как первого года, так в дальнейшем всего периода детства (рис. 7).

Соответственно в этот период в клинике у всех детей появляется длительная фиксация взгляда, сочетаемость движений головы и глаз, прослеживание предмета, возникает комплекс оживления при зрительно-слуховых раздражениях, и что важно на 4-м месяце постепенно угасают содружественные нерациональные движения.

пар (C3–C4-0,42±0,02 и O1–O2-0,38±0,02). Это является вполне физиологичным для данного возраста (M. Yamada et al, 1995) и объясняется началом специализации двигательных центров левого и правого полушария (рис. 3.2, таблица 3.2).

Рисунок 7. Уровень средней когерентности ЭЭГ у здоровых доношенных детей по межполушарным парам. В возрасте 1–2 месяца межполушарные отношения не сформированы. В 3–4 месяца начинают расти межполушарные отношения. К 5–6 месяцам они полностью сформированы



В 5–6 месяцев у детей формируются функции требующие взаимодействия обоих полушарий: протягивание руки и хватание предмета ладонью с обилием сопутствующих движений, примитивные манипуляции с игрушкой, поворот со спины на живот.

Исследование пространственно-временных отношений по данным когерентного анализа ЭЭГ в этом возрасте хорошо коррелировало с клинической картиной развития ребенка. Появлялось типичное пространственное распределение величин когерентности по парасагитальным парам электродов с максимумом в паре Fr1-Fr2 (0,58±0,03) и минимумом в паре O1-O2 (0,38±0,02). Особенностью этого возрастного периода следует отметить временное повышение уровня межтеменных отношений P3-P4 был достоверно выше 0,50±0,02 соседних

К примеру, у детей 4–15 лет у пациентов с двигательной расторможенностью выявляется более высокий уровень отношений между левой и правой теменными областями, наблюдается. В наших наблюдениях, у младенцев 5–6 месяцев, это обусловлено, вероятно, переизбытком функциональных связей, в период угасания генерализованных и формирования новых специализированных двигательных актов [16, 17].

В возрасте 7–8 месяцев жизни у младенцев происходит снижение избыточных межтеменных связей, так как в этом возрасте уже заканчивается период создания начальных путей для взаимодействия двигательных зон левого и правого полушария и они опускаются до уровня рутинных и в связи с чем отпадает необходимость в переизбытке функционирующих связей между этими областями [16].

Показатели мозговой интеграции межполушарной когерентности в возрастных подгруппах 9–10 и 11–12 месяцев практически не отличались друг от друга, достигая стабильного уровня, который в дальнейшем остается более-менее устойчивым вплоть до 15 лет.

Из приведенных данных следует, что показатели когерентности ЭЭГ у детей первого года имеют функциональную связь с уровнем психомоторного развития здорового ребенка и могут служить объективным критерием в общем комплексе оценки этой сферы состояния младенца.

Становление пространственно-временных отношений у «условно» здоровых недоношенных детей на первом году жизни (по данным когерентного анализа ЭЭГ)

Первые месяцы у недоношенных младенцев, как и у новорожденных после срочных родов, межполушарные отношения по данным когерентного анализа оказываются несформированными и развиваются с относительным опозданием в зависимости от гистационного возраста. Если у доношенных новорожденных уже на 3–4 месяцах отмечаются некоторые признаки взаимодействия полушарий, то у недоношенных, рожденных на сроках 31–34 недели гестации, уровень когерентности достоверно возрастал только к 7–8 месяцам фактического возраста. Лишь в возрастной период 9–10 месяцев отмечены достоверные признаки повышения уровня взаимодействия полушарий, как по данным когерентного анализа ЭЭГ, так и по клиническим признакам.

Сравнение с клинической картиной развития недоношенных детей и сроками формирования межполушарных отношений показало, что время формирования межполушарных отношений и созревание нервно-психических и двигательных функций сдвигается на несколько месяцев (рис. 2.31 и рис. 2.32).

Первые месяцы, как и в группе доношенных новорожденных, у недоношенных все величины когерентности низкие, различий между передними, центральными и задними межполушарными парами нет. Далее в возрасте 7–8, 9–10 месяцев формируются межрегионарные различия. Тенденция та же, что и у доношенных младенцев: передние отделы имеют более высокие значения когерентности, чем задние.

Становление пространственно-временных отношений ЭЭГ недоношенных детей при перивентрикулярной лейкомаляции на 1–2-м годах жизни

Вся проблема недоношенных детей заключается в том, что они имеют терминальный тип кровоснабжения головного мозга. Если для внутриутробного периода — это оптимальный вариант, то в последовом периоде возникает дефицит кровоснабжения перивентрикулярной зоны. а перивентрикулярная зона мозга наиболее чувствительна к гипоксии. В случаях нарушения метаболизма клеток при тяжелой ишемии приводит к развитию некроза белого вещества головного мозга в зонах пограничного кровоснабжения и развитию привентрикулярной лейкомаляции (ПВЛ).

Большинство детей перенесших ПВЛ формируют ДЦП различной степени тяжести, от минимальных неврологических отклонений с полной социальной реабилитацией до грубой задержки психомоторного развития.

Эти изменения, как правило, затрагивают кортикоспинальный тракт и страдают межполушарные пути.

Проблема состоит в том, что клинически неврологический исход у таких детей представляется возможным установить лишь на втором году жизни. Прогноз исхода недоношенности имеет период неопределенности, то есть «пронесет-не пронесет», и станет ясно лишь к двум годам, что недоношенный ребенок по клинической картине идет по пути компенсации двигательных функций или по пути формирования картины детского церебрального паралича (ДЦП).

Оказалось, что темпы восстановления уровня когерентности по межполушарным парам у недоношенных

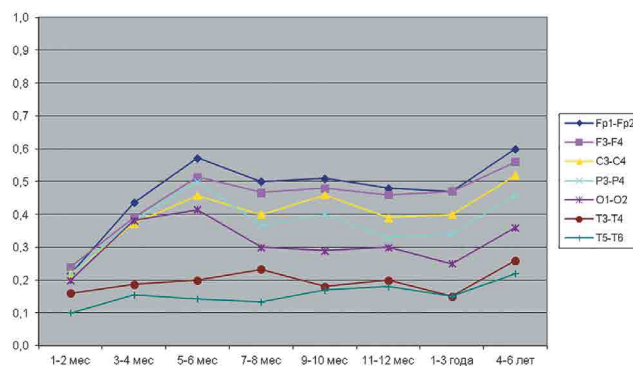


Рисунок 2.21. Динамика становления межполушарных отношений здоровых доношенных детей на первом году жизни (по данным когерентного анализа ЭЭГ).

Таблица 2
Границы колебаний межполушарных когерентностей у здоровых детей

Пары отведений	Нижняя граница	Верхняя граница
Fp1-Fp2	0,48	0,68
F3-F4	0,46	0,72
C1-C2	0,46	0,64
P3-P4	0,37	0,52
O1-O2	0,26	0,4
F7-F8	0,22	0,38
T3-T4	0,19	0,33
T6-T7	0,14	0,26

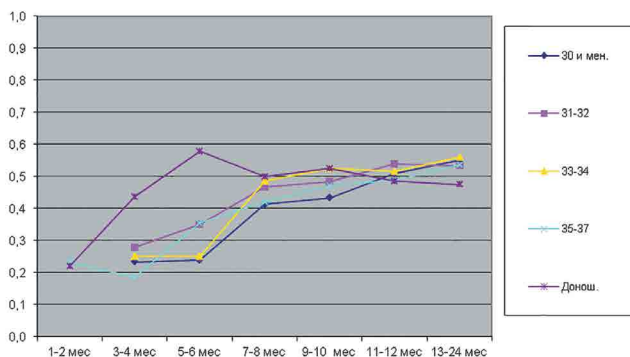


Рисунок 2.31. Формирование межлобных отношений (Fp1-Fp2) по данным когерентного анализа ЭЭГ у доношенных и недоношенных детей с разной степенью недоношенности на первом и втором годах жизни (по данным когерентного анализа ЭЭГ)

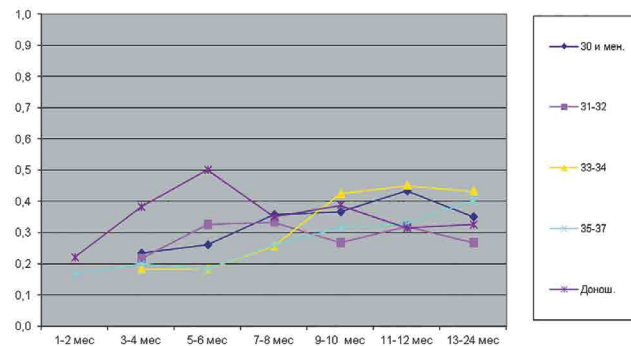


Рисунок 2.32. Формирование межтеменных (P3-P4) отношений у доношенных и недоношенных детей с разной степенью недоношенности на первом и втором годах жизни (по данным когерентного анализа ЭЭГ)

детей могут служить надежным ранним маркером развития ДЦП [10].

На модели недоношенных детей (гестационный возраст 27–32 недели) прослежены темпы формирования межполушарных связей по когерентному анализу ЭЭГ прослеженными исхода к 2–3 годам жизни (рис. 2.33 А и Б).

Как у детей рожденных в срок и у недоношенных с благоприятным клиническим течением межполушарные связи к 10–12 месяцам оказывались сформированными. При развитии ДЦП отмечалось сохранение низкого уровня межполушарных связей по всем отведениям за весь период наблюдения до 2 х лет.

У недоношенных детей, перенесших перивентрикулярную лейкомаляцию, использование данных анализа когерентного анализа ЭЭГ оказался не просто полезным, а единственно полезным электроэнцефалографическим признаком в оценке аномалий формирования внутримозговых связей. Чем тяжелее поражение, тем медленнее проис-

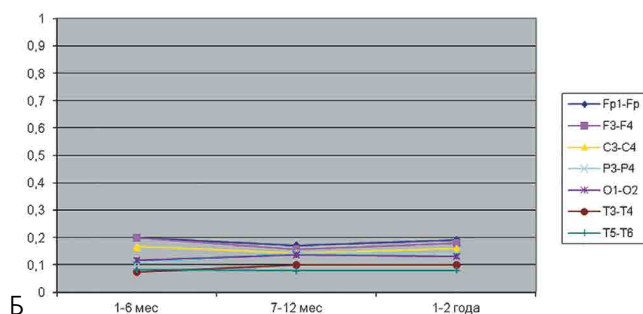
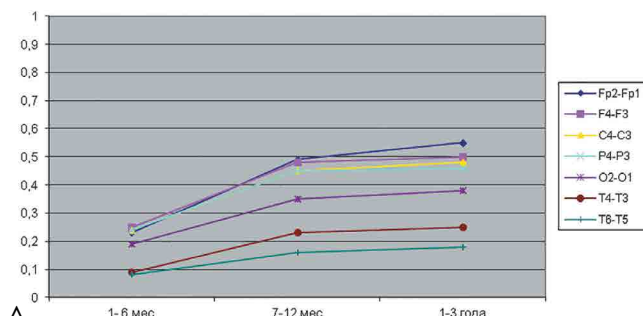
ходит рост значений когерентности. При прогностически неблагоприятных случаях межполушарные отношения не формируются вовсе.

Таким образом, на моделях тяжелой травмы мозга и недоношенных детей с развитием клиники ДЦП, казалось бы далеких по существу клинических состояний, мы продемонстрировали общий механизм развития расстройств состояния межполушарных отношений, легко и надежно контролируемого по показателям когерентности ЭЭГ с возможностью построения прогноза исхода.

Список литературы / References:

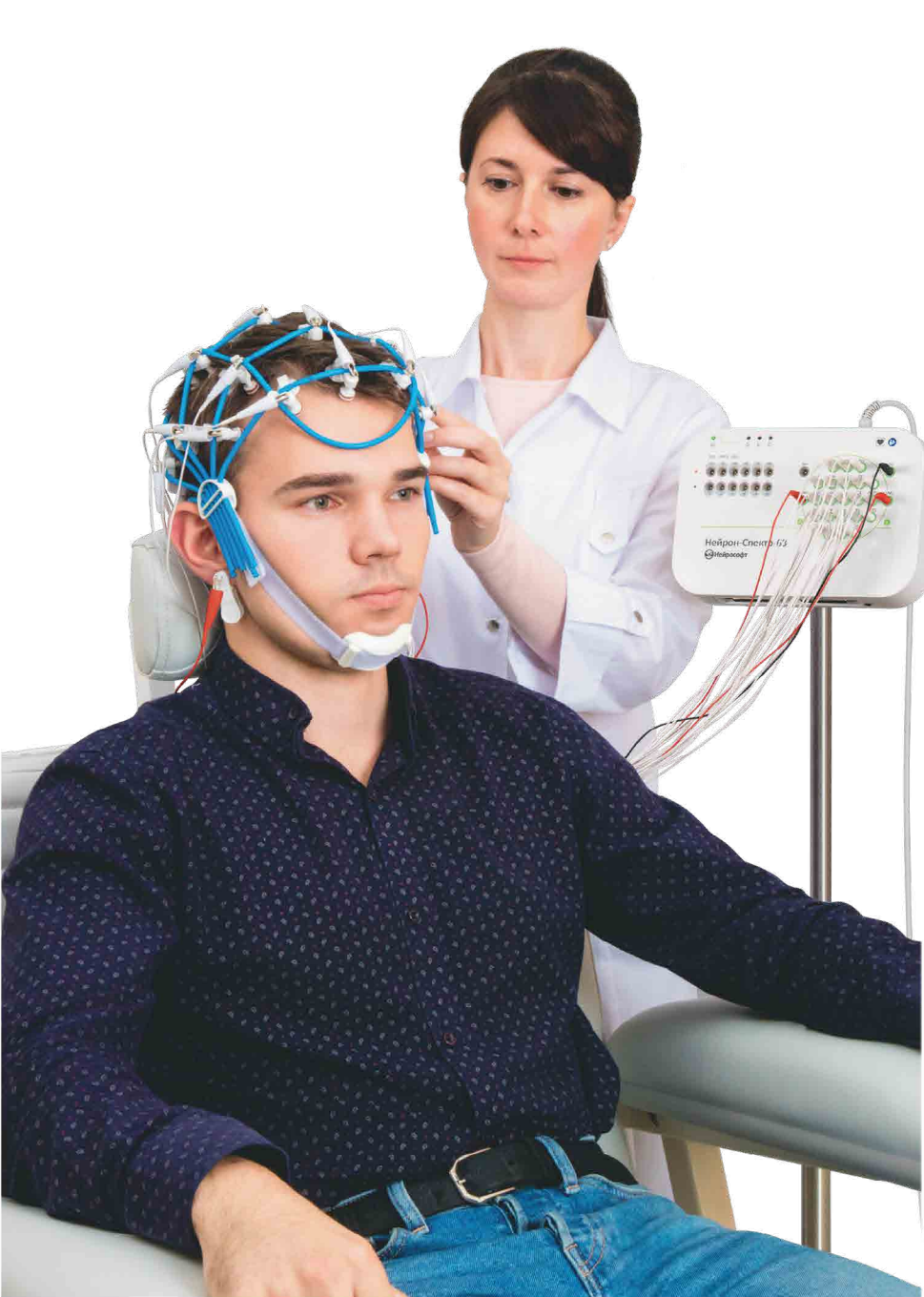
- Александров М. В. — Ритмическая активность таламуса. В кн.: «Электроэнцефалография», под редакцией М. В. Александрова, 32–37, 2020. С.-Петербург. Alexandrov M. V. — Rhythmic activity of the thalamus. In the book: «Electroencephalography», edited by M. V. Aleksandrov, 32–37, 2020. St. Petersburg.
- Болдырева Г. Н. Электрическая активность мозга человека при поражении дiencephalic и лимбических структур, М. Наука, 2000. Boldyreva G. N. Electrical activity of the human brain in lesions of diencephalic and limbic structures, M. Nauka, 2000.
- Гриндель, О. М. Оптимальный уровень когерентности ЭЭГ и его значение в оценке функционального состояния головного мозга ЖВНД, 1963, т. 13, № 4, 577–584. The optimal level of EEG coherence and its significance in assessing the functional state of the brain ZhVND, 1963, vol. 13, No. 4, 577–584.
- Гриндель О. М., Межцентральные отношения в коре головного мозга по показателю когерентности ЭЭГ при восстановлении сознания и речи после длительной комы. ЖВНД, 1980, т. 30, № 1, 60–67. Intercentral relationships in the cerebral cortex in terms of EEG coherence during the recovery of consciousness and speech after a long coma. ZhVND, 1980, vol. 30, no. 1, 60–67.
- Гриндель О. М. Электроэнцефалограмма человека при черепно-мозговой травме. М., Наука, 1988, 200. (Human electroencephalography in traumatic brain injury. M., Nauka, 1988, 200.)
- Иванов Л. Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография. Москва. МБН. 2004. (Applied computer electroencephalography. Moscow. MBN. 2004.)
- Иванов Л. Б. — Спектр мощности ЭЭГ: ошибки и практика применения (лекция первая) Медицинский алфавит № 39 / 2021, Современная функциональная диагностика (4) 43–52. Ivanov L. B. — EEG power spectrum: errors and practice of application (lecture one) Medical alphabet No. 39 / 2021, Modern functional diagnostics (4) 43–52.
- Иванов Л. Б. Об информативности применения когерентного анализа в клинической электроэнцефалографии. ЖВНД 2011, том 61, № 4, с. 499–512. Ivanov L. B. On the informativeness of the use of coherent analysis in clinical electroencephalography. ZhVND 2011, vol. 61, no. 4, p. 499–512.
- Иванов Л. Б., Селезнева Ж. В., Ермолаева Т. П., Гегуева Е. Н. Прогностическое значение оценки межполушарных связей при длительных бессознательных состояниях травматического и постгипоксического генеза у детей (по данным когерентного анализа ЭЭГ). Ж. Функциональная диагностика. 2009, № 3, стр. 29–43. Ivanov L. B., Selezneva Zh. V., Ermolaeva T. P., Gegueva E. N. Prognostic

Рисунок 2.33. Динамика становления межполушарных отношений у детей перенесших ПВЛ (по данным когерентного анализа ЭЭГ)



НЕЙРОН-СПЕКТР-63

надежный электроэнцефалограф для рутинных ЭЭГ-исследований



простой в подключении
и использовании



автоматическая запись
функциональных проб
и генерация протокола



ВОЗМОЖНОСТЬ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
мостиковых, чашечковых
электродов и различных
электродных систем



контроль качества
наложения электродов



бесплатное обучение
специалистов



Нейрософт

+7 (4932) 95-99-99

www.neurosoft.com
info@neurosoft.com

Россия, 153032, г. Иваново,
ул. Воронина, д. 5

- value of assessing interhemispheric connections in prolonged unconscious states of traumatic and posthypoxic genesis in children (according to EEG coherence analysis). *J. Functional Diagnostics*. 2009, No. 3, pp. 29–43.
10. Иванова Е.А., 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. *Ж. Функциональная диагностика*, 2003, № 1, 86–92.
Ivanova E.A., Sakhno Yu.F., Ivanov L.B. Formation of intracerebral integration according to the data of coherent EEG analysis and development of psychomotor functions in premature infants in the norm and in periventricular leukomalacia. *Zh. Functional diagnostics*, 2003, No. 1, 86–92.
 11. Кулаичев А.П. Об информативности когерентного анализа. *ЖВНД*, 2009, т.5, № 6; стр. 766–775.
Kulaichev A.P. On the informativity of coherent analysis. *ZhVND*, 2009, v.5, no. 6; pp. 766–775.
 12. Ливанов М.Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М.: "Наука", 1989. 400, с.186–209.
Livanov M.N. Spatial-temporal organization of potentials and systemic activity of the brain. M.: Nauka, 1989. 400, pp. 186–209.
 13. Машеров Е.А. — Происхождение низкочастотной компоненты биопотенциалов мозга. В кн.: Л. Б. Иванова, Прикладная компьютерная электроэнцефалография. Москва. 232–242, МБН. 2004.
Mashero E.A. — The origin of the low-frequency component of brain biopotentials. In the book: L. B. Ivanova, Applied computer electroencephalography. Moscow. 232–242, MBN. 2004.
 14. 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. *Ж. Функциональная диагностика*, 2009, № 1, 36–41.
Melnikova T.S., Lapin I.A. Yurkin M.M., Mitrofanov A.A., Krasnov V.N., Kryukov V.V. Dynamics of coherent relationships at different stages of the formation of the psychoorganic syndrome. *G. Functional diagnostics*, 2009, No. 1, 36–41.
 15. Adey W.R., Walter D.O. Application of phase detection and averaging techniques in computer analysis of EEG records in the cat. *Exper. Neurol*. 1963. 7. 186–209.
 16. Yamada M., Kimura M., Mori T. et al. EEG power and co and herehce in presenile and senile depression. *Nippon Ika Diagaku Zasshi*. 1995. V. 62. N 2. 176–185.
 17. Wang G., Takigawa M. Directed coherence as measure of interhemispheric correlation of EEG. *Int. J. Psicophysiol*. 1992 V. 13. N 2. 119128.

Сведения об авторах

Иванов Лев Борисович, кандидат медицинских наук, врач высшей категории по функциональной диагностики, заведующий диагностического отделения. ORCID: 0000-0001-5954-1520

КДЦ при Детской городской клинической больницы № 9 имени Г.Н. Сперанского, Москва

E-mail: ivanov40lb@gmail.com

About authors

Иванов Лев Борисович, кандидат медицинских наук, врач высшей категории по функциональной диагностики, заведующий диагностического отделения. ORCID: 0000-0001-5954-1520

КДЦ при Детской городской клинической больницы № 9 имени Г.Н. Сперанского, Москва

E-mail: ivanov40lb@gmail.com

Статья поступила / Received 08.02.2023

Получена после рецензирования / Revised 10.02.2023

Принята в печать / Accepted 22.02.2023

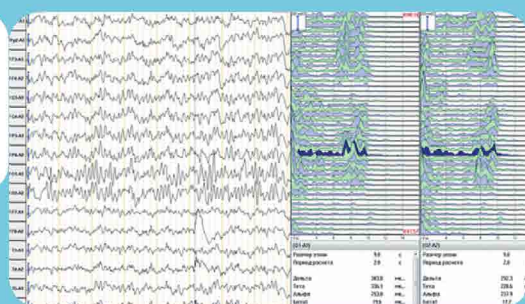
Для цитирования: Иванов Л.Б. Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Перспективы и проблемы применения когерентного анализа в практике ЭЭГ (лекция первая). Медицинский алфавит. 2023;(7):7–16. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-7-16>

For citation: Ivanov L.B. Coherence analysis in electroencephalography. Prospects and problems of using coherent analysis in EEG practice (lecture one). *Medical alphabet*. 2023;(7):7–16. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-7-16>

ООО «НАУЧНО-МЕДИЦИНСКАЯ ФИРМА МБН»

105120, Москва, 2-й Сыромятнический 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>



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:

- Оснащено 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

