

**В.А. Балабанова<sup>1</sup>, Д.А. Киселев<sup>2</sup>, О.А. Лайшева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Российская детская клиническая больница, Москва

<sup>2</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.Н. Пирогова, Москва

## **Оценка изменения функционального состояния ЦНС у больных с двигательными нарушениями по данным математического анализа ЭЭГ до и после восстановительной терапии по методу функциональной двигательной регуляции**

Исследование посвящено изучению нейрофизиологических механизмов восстановительного процесса у больных с двигательными нарушениями при использовании метода функциональной регуляции движения (ФРД). Проведено комплексное динамическое исследование биоэлектрической активности мозга до и после применения метода ФРД. Выявлено, что после курса ФРД повышается внутрислоушарная когерентность для разных диапазонов ритмов в различных областях коры и резко повышается межполушарная когерентность в центральных (моторных) отделах кортекса. Эти факты в соответствии с представлениями об отражении в параметрах когерентности ЭЭГ не только корково-корковых, но и корково-подкоркового взаимодействия при участии регуляторных систем мозга могут свидетельствовать об активации интегративных процессов и межполушарного взаимодействия в результате использования метода ФРД, а также об интеграции зон корковой проекции двигательного анализатора. Выявлены ЭЭГ-маркеры интегративных восстановительных процессов, развивающихся у больных с двигательными нарушениями после включения в курс реабилитации метода ФРД.

**Ключевые слова:** электроэнцефалография (ЭЭГ), когерентный анализ ЭЭГ, спектрально-когерентные показатели ЭЭГ, функциональная регуляция движений (ФРД).

**Контактная информация:** Балабанова Вера Антониовна, канд. биол. наук. Тел.: (495) 936-9359.

© Коллектив авторов, 2012

**V.A. BALABANOVA, D.A. KISELEV, O.A. LAISHEVA**

### **Evaluation of changes in CNS functional status in patients with disordered motor function based on a mathematical analysis of EEG data prior to and after rehabilitation therapy according to the method of functional regulation of movements**

The study is focused on investigation of neurophysiological mechanisms underlying the rehabilitation process in patients with disordered motor function involving the use of the method of functional regulation of movements (FRM). A complex dynamic investigation of the brain bioelectrical activity was carried out before and after applying the FRM approach. It was found that following a course of FRM therapy there was an increase in interhemispheric EEG coherence for different rhythmic ranges in various cortical regions and a sharp rise in interhemispheric coherence in central (motor) areas of the cortex. These facts consistent with the idea that not only cortico-cortical but also cortico-subcortical interactions involving brain regulatory systems are reflected in EEG coherence parameters may be indicative of activation of integrative processes and interhemispheric interaction resulting from the use of the FRM method as well as integration of motor cortical projection areas. EEG markers of integrative rehabilitation processes evolving in patients with motor disturbances after inclusion of the FRM method in the course of rehabilitation have been identified.

**Key words:** electroencephalography (EEG), EEG coherent analysis, spectral-coherent EEG indicators, functional regulation of movements (FRM).

**Б**лагодаря многолетним усилиям ведущих нейробиологических лабораторий мира в области математического анализа электроэнцефалограмм создана программа, которая с помощью математических преобразований может достаточно точно рассчитать значения внутри- и межполушарных взаимодействий в головном мозге и позволяет выявить ряд существенных особенностей электрической активности мозга, скрытых при визуальном анализе ЭЭГ. Использование этой программы в анализе компьютерной ЭЭГ (расчет спектров мощности и когерентности) позволяет объективнее оценивать интегративные процессы головного мозга.

Л.Б. Иванов в своей монографии [1] отмечает, что в настоящее время из-за особенностей программы медицинского образования в нашей стране такие методы анализа ЭЭГ, как спектральный, когерентный, фазовый, корреляционный, кросскорреляционный и др., уже терминологически отпугивают врачей-практиков от их применения.

Одно из многих направлений применения спектрально-когерентного анализа ЭЭГ в отделении нейробиологии Российской детской клинической больницы – исследование особенностей реорганизации электроэнцефалограммы у больных с поражением центральной нервной системы (ЦНС) в процессе восстановительного лечения [2–6].

Согласно представлениям, развиваемым электрофизиологической школой академика В.С. Русинова [7–10], о том, что ЭЭГ – это электроэнцефалографическая картина динамики межцентральных отноше-

ний, основной акцент в данном исследовании был

сделан на анализ структуры меж- и внутрисушарных когерентностей ЭЭГ, первые из которых отражают преимущественно состояние срединно-глубинных образований мозга, вторые – особенности интракортикальных и корково-подкорковых отношений в пределах полушарий. Глобальный характер реорганизации межцентральных отношений при изменении функционального состояния регуляторных систем проявляется в резком изменении структуры как внутри- так и межполушарных связей. Это находит отражение в показателях средних уровней когерентности, характеризующих степень сочетанности по отдельным дискретным частотам.

**Цель работы:** исследование спектрально-когерентных показателей биоэлектрической активности мозга у больных с двигательными нарушениями (спастический правосторонний гемипарез) при использовании восстановительного лечения по методу функциональной регуляции движений [11].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование биоэлектрической активности мозга проводили в динамике до применения методики функциональной регуляции движения (ФРД) и в конце курса нейрореабилитации у детей и подростков от 10 до 16 лет с сохранным интеллектом, но с двигательными нарушениями в виде спастического правостороннего гемипареза. Всего с помощью мате-

График 1

Фоновая электроэнцефалограмма больной М., 11 лет; диагноз: последствия острого нарушения мозгового кровообращения в виде спастического правостороннего гемипареза

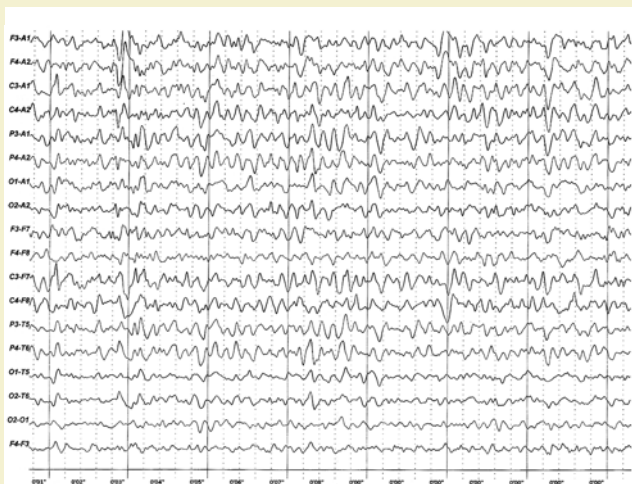
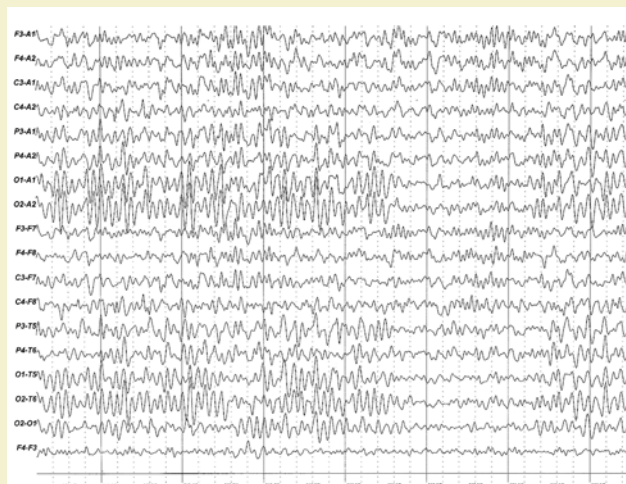


График 2

Фоновая электроэнцефалограмма больной П., 8 лет; диагноз: ДЦП, спастический правосторонний гемипарез



матического анализа исследовали 20 функций когерентности (три пары внутрислоушарных связей левого и правого полушария (F3C3, C3P3, P3O1, F4C4, C4P4, P4O2) и четыре пары межполушарных связей (F3F4, C3C4, P3P4, O1O2), а также 16 спектров мощности (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2) у каждого больного с диагнозами: последствия ОНМК (два человека), последствия закрытой ЧМТ (один человек), ДЦП (два человека). ЭЭГ регистрировали с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Neuroscop-416» (НПФ «Биола», Россия) монополярно от симметричных отведений затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4), центральных (C3, C4), лобных (F3, F4) с отдельными ушными индифферентными электродами. Локализацию отведений определяли по международной системе «10–20».

Спектры когерентности вычислялись в полосе от 1 до 35 Гц с разрешающей способностью по частоте 0,2 Гц для 2-секундных отрезков монополярной записи ЭЭГ. Оценку спектров когерентности проводили на основании среднего уровня когерентности, вычисляемого автоматически для всей частотной полосы ЭЭГ в целом и для отдельных физиологических диапазонов ритмов. Исследовали статистические линейные связи электрических процессов двух областей мозга, которые оценивали по величине связанности по каждой отдельной частоте колебаний независимо от их амплитуды.

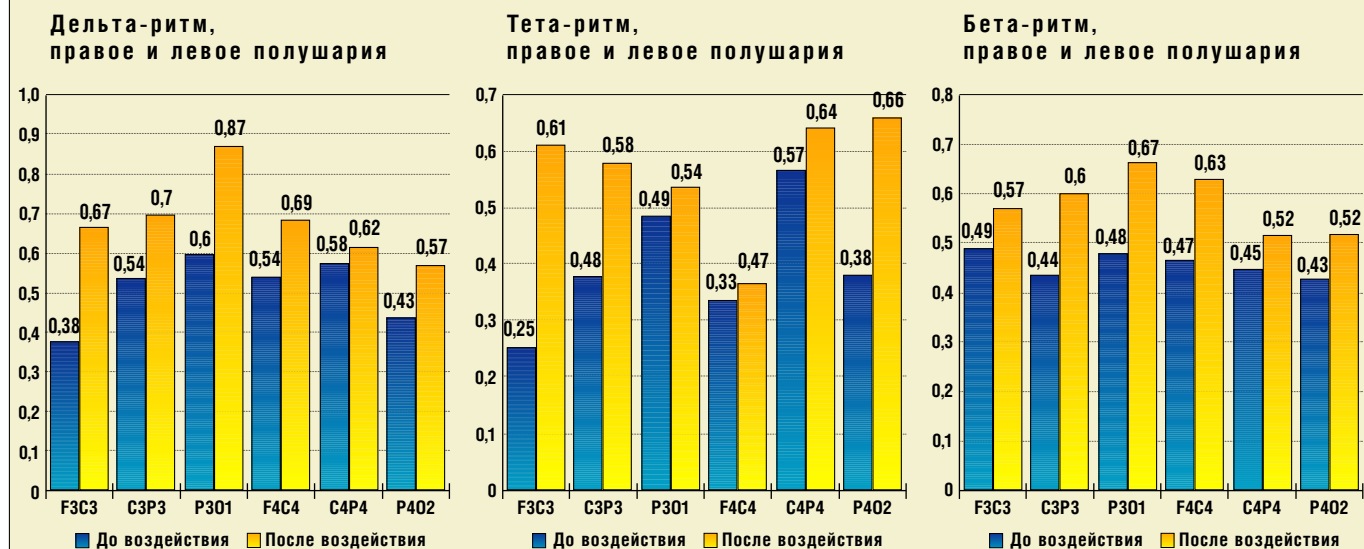
Когерентность принимает значения от 0 до 1, по ней можно судить о силе связи двух процессов: КОГ<0,5 – связь слабая; КОГ=0,5–0,6 – умеренная; КОГ=0,6–0,8 – значительная; КОГ>0,8 – высокая [9].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Задача настоящего исследования состояла в поисках общих закономерностей развития реакции мозга на нейрореабилитационные воздействия у детей с нарушениями в двигательной сфере в виде спастического правостороннего гемипареза. Визуальный анализ биоэлектрической активности коры больших полушарий у обследованных больных свидетельствует о значительном разнообразии фонового паттерна как в виде наличия сохранного, однако синхронизированного и заостренного альфа-ритма в задних отделах полушарий и доминирования бисинхронных групп бета-ритма в передних отделах полушарий на фоне сохранной фронто-окципитальной асимметрии (график 1), так и в виде отсутствия основного альфа-ритма в задних отделах полушарий и доминирования медленных форм активности тета-дельта-диапазона по всем отделам безградиентно на фоне нарушения пространственно-временной организации биоэлектрической активности (график 2). Визуальный анализ биоэлектрической активности коры больших полушарий, зарегистрированной после

График 3

Особенности перестройки внутрислоушарных отношений по показателям средних уровней когерентности до и после восстановительного лечения больного Ш., 16 лет; диагноз: последствия закрытой черепно-мозговой травмы в виде спастического правостороннего гемипареза



По оси абсцисс – анализируемые пары областей; по оси ординат – значения средних уровней когерентности. Даны числовые значения средних уровней когерентности до и после восстановительной терапии.

восстановительного лечения, не выявил существенных изменений паттерна ЭЭГ ни у одного больного.

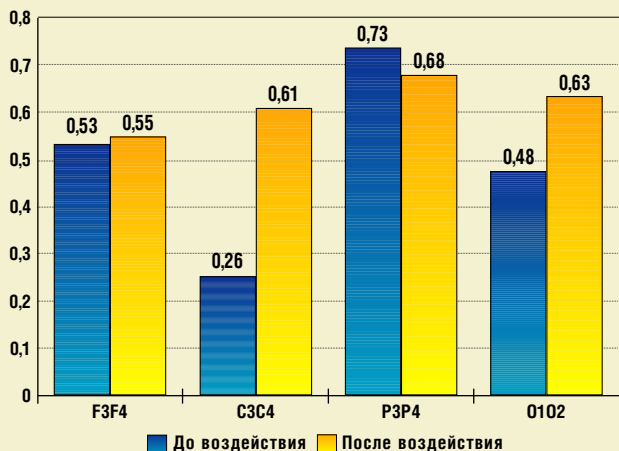
При значительном многообразии фонового паттерна биоэлектрической активности коры больших полушарий, наблюдаемого при визуальном анализе, спектрально-когерентный анализ показал однонаправленные изменения статистических параметров у больных. На *графике 3* представлена динамика функции внутрислошарной когерентности больного Ш. до и после проведения восстановительного лечения. Отмечено повышение внутрислошарной КОГ по всем диапазонам частот – как в передних, так и в задних отделах полушарий, как правого – здорового, так и левого – пораженного полушария после проведения курса реабилитации.

На *графике 4* представлены графики и значения функции межполушарной КОГ до и после применения метода ФРД у больного М. До начала лечения в центральных отделах полушарий отмечали самые низкие значения КОГ, то есть практически полное отсутствие связи по ритмам: в дельта-диапазоне КОГ=0,26; в тета-диапазоне КОГ=0,22; в альфа-диапазоне КОГ=0,21; в бета-диапазоне КОГ=0,17. После лечебного воздействия отмечено резкое повышение функции КОГ, то есть восстановление связей в центральных отделах полушарий по всем диапазонам частот: в дельта-диапазоне КОГ=0,61; в тета-диапазоне КОГ=0,67; в альфа-диапазоне КОГ=0,51; в бета-диапазоне КОГ=0,57.

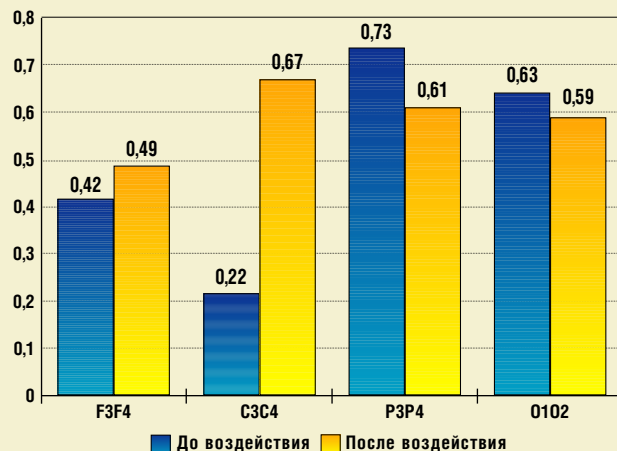
График 4

Особенности перестройки межполушарных отношений по показателям средних уровней когерентности до и после восстановительного лечения больного М., 11 лет, диагноз: последствия ОНМК в виде спастического правостороннего гемипареза

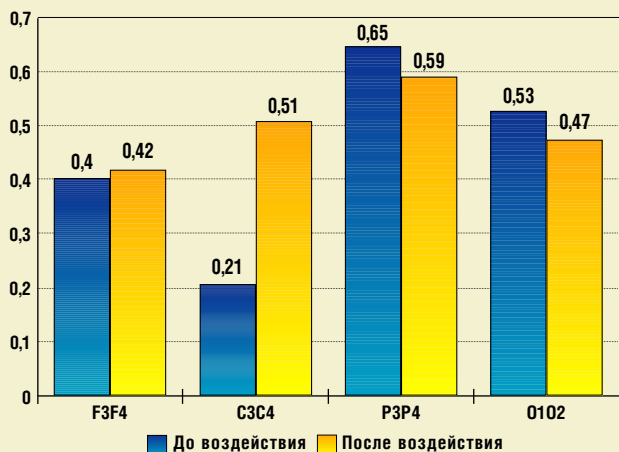
Дельта-ритм, межполушарная когерентность



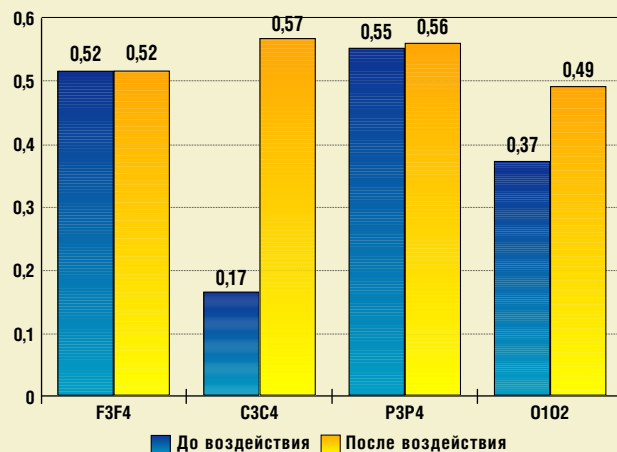
Тета-ритм, межполушарная когерентность



Альфа-ритм, межполушарная когерентность



Бета-ритм, межполушарная когерентность



Таким образом, отличительной особенностью данной группы больных после проведения курса нейрореабилитации по методу ФРД стало резкое увеличение значений функции межполушарной когерентности в центральных отделах полушарий – зоне проекции таламических систем мозга в широкой полосе частот. Такое повышение связей в центральных отделах коры свидетельствует о формировании функционального стационарного очага на уровне таламических регулирующих систем мозга [7–10].

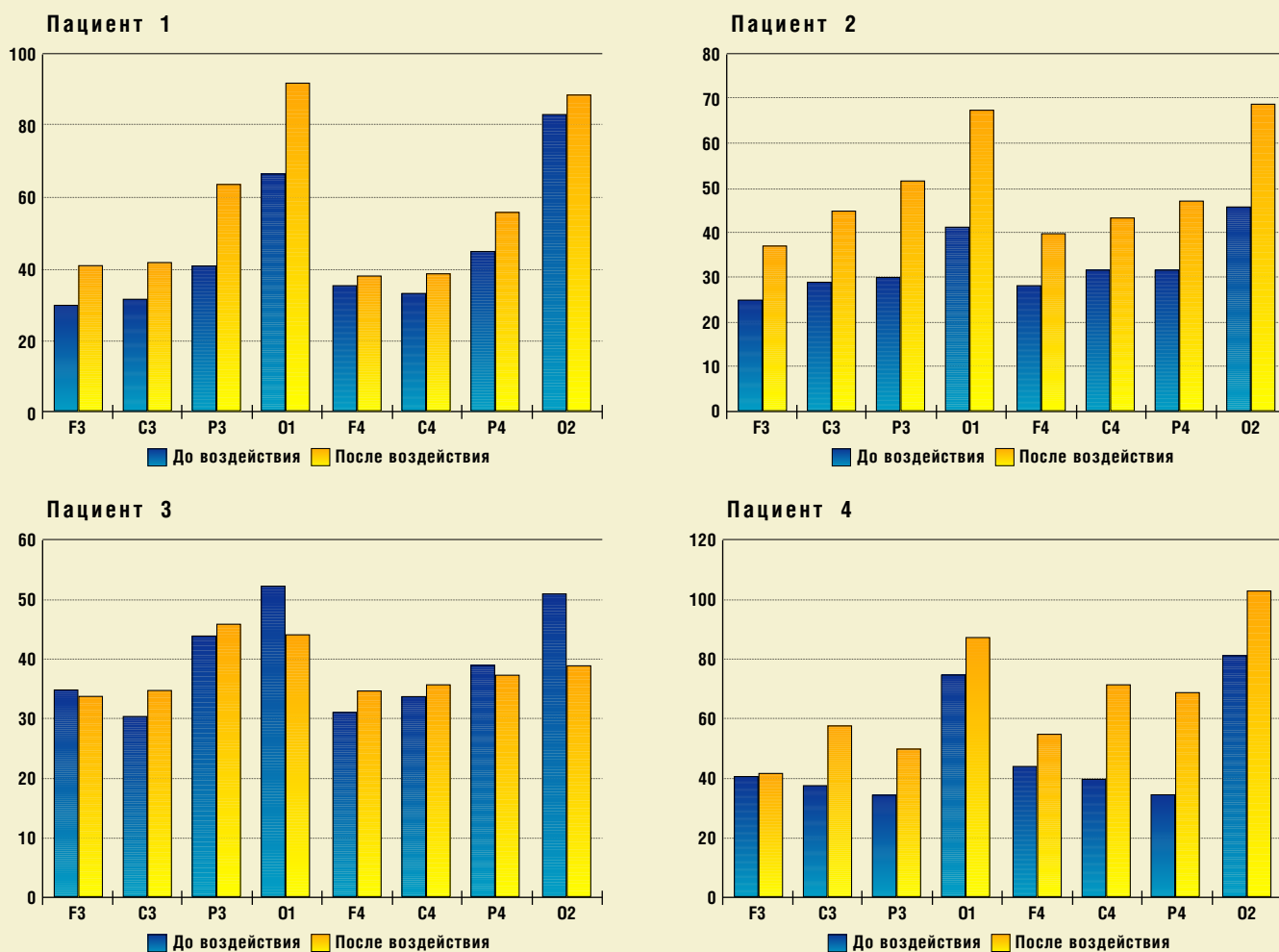
Повышение КОГ в центральных отделах конвекса – следствие синхронной активности широкого диапазона частот, что обусловлено действием того, что А.А. Ухтомский называл «доминантным фокусом».

Полученные после нейрореабилитации высокие уровни КОГ в центральных отделах конвекса связаны с высоким уровнем стационарной активности регуляторных диэнцефальных систем мозга и свидетельствуют о способности ЦНС к значительной функциональной перестройке после применения метода ФРД.

Можно констатировать, что применение данной нейрореабилитационной методики способствует возникновению и развитию доминантного очага возбуждения или генератора стационарной активности. Данный генератор стационарной активности формирует свою систему связей, одновременно нарушая сформировавшиеся в процессе болезни взаимоотношения как на уровне коры головного мозга, так и на уровне

График 5

Динамика интегрального коэффициента (ИК) у четверых больных до и после восстановительного лечения правостороннего гемипареза



По оси абсцисс – отведения; по оси ординат – числовые значения ИК (отношение альфа+бета/дельта+тета): F – лобные отделы; C – центральные; P – теменные; O – затылочные; avg – усредненные значения ИК по всем отделам полушария; четные цифры – правое полушарие, нечетные – левое.

подкорковых структур. Происходит перестройка всей суммарной ритмической активности, отражающей мобилизацию регуляторных процессов ЦНС, оптимизацию работы мозга и как следствие этого – улучшение двигательной функции конечностей.

Для объективизации выявленных при сравнительном анализе до и после курса ФРД ЭЭГ-изменений были вычислены некоторые интегральные количественные характеристики биоэлектрической активности: индекс отношения суммарной мощности быстрой активности (альфа+бета) к суммарной мощности медленной активности (дельта+тета) в лобных, центральных, теменных и затылочных отделах полушарий.

Динамика данного интегрального коэффициента (ИК) дает возможность провести сравнение спектральной мощности всех частотных диапазонов ЭЭГ у четырех больных (*график 5*). После проведения курса восстановительного лечения по методу ФРД отмечено значительное увеличение отношений спектров мощности частых ритмов к медленным ритмам у первого, второго и четвертого пациентов по всем отделам коры больших полушарий, а у третьего пациента – в центральных и теменных отделах левого полушария и лобно-центральных отделах правого полушария.

Таким образом, после проведения курса восстановительной терапии, по данным интегрального количественного анализа, выявлены тенденция к снижению тормозных процессов в коре больших полушарий и увеличение индекса основного альфаритма, а также бета-колебаний по всем отделам обеих гемисфер.

## ВЫВОДЫ

Особенности полученной нами динамики нейрофизиологических показателей позволяют предполагать формирование нового функционального состояния центральной нервной системы, клинически проявляющееся в виде снижения степени ограничения физических возможностей больного. Под влиянием восстановительного лечения по методу ФРД происходит отчетливая стимуляция нейропластичности в ЦНС, в связи с чем терапевтический потенциал рассматриваемых реабилитационных технологий представляется высоким.

## Литература

1. Иванов Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография. – М.: Медицинская фирма «МБН», 2000, 251 с.

2. Балабанова В.А. Антропов Ю.Ф. Особенности реорганизации электроэнцефалограммы у больных с психосоматическими расстройствами по данным математического анализа // Детская больница, 2003, №3 (13), 17–21.
3. Балабанова В.А. Нейропатологические основы соматизированных нарушений у детей / В кн.: Антропова Ю.Ф. Эмоциональные нарушения и их соматизация у детей. – М.: Триада-Фарм, 2008, с. 169–188.
4. Балабанова В.А. Динамика функционального состояния мозга у детей с благоприятным и неблагоприятным течением комы // Детская больница, 2008, №2, с. 11–16.
5. Балабанова В.А. Корреляция количественных нейропсихологических показателей с данными электроэнцефалографии / В кн.: Столбун В.Д. Метод количественной нейропсихологической объективизации состояния динамических церебральных систем. – Тверь: Лилия Принт, 2006, с. 158–178.
6. Балабанова В.А. Количественное нейропсихологическое и нейрофизиологическое исследование в медицине / В кн.: Столбун В.Д. Метод количественной нейропсихологической объективизации состояния церебральных динамических систем. – Тверь: Лилия Принт, 2006, с. 283–317.
7. Электрофизиологическое исследование стационарной активности в головном мозге (Под общ. ред. В.С. Русинова). – М.: Наука, 1983, 344 с.
8. Болдырева Г.Н. Электрическая активность мозга при поражении диэнцефальных и лимбических структур. – М.: Наука, 2000, 180 с.
9. Русинов В.С., Гриндель О.М. Биопотенциалы мозга человека: Математический анализ. – М.: Медицина, 1987, 256 с.
10. Доброправова И.С. ЭЭГ у нейрохирургических больных в раннем послеоперационном периоде / В кн.: Нейрофизиологические исследования в клинике. – М.: Антидор, 2001, с. 114–124.
11. Реабилитация больных с поражением ЦНС с использованием метода функциональной регуляции движения // Детская больница, 2010, № 4, с. 48–55.