

УДК 612.821+57.087.1

ИЗМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ КУРСА НЕЙРОТЕРАПИИ ДЕТЬМИ 5–11 ЛЕТ

Куличенко А. М., Эйсмонт Е. В., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

Изучались изменения когерентности ЭЭГ под влиянием нейротерапии, направленной на увеличение мощности альфа-ритма и снижение – тета-ритма. В исследованиях приняли участие 10 детей в возрасте от 5 до 11 лет с повышенной тревожностью и сниженными показателями произвольного внимания. Проводился анализ когерентности ЭЭГ близлежащих и удаленных областей мозга в пределах каждого из полушарий и для одноименных областей мозга правого и левого полушарий, что позволяло характеризовать короткие и длинные внутри- и межполушарные связи соответственно. В результате проведенного тренинга из 10 сеансов, наряду с оптимизацией психофизиологического состояния детей, наблюдается значимое увеличение коэффициентов когерентности ряда ритмов, регистрируемых в лобных и теменно-затылочных отделах левого полушария. Результаты свидетельствуют о целесообразности применения показателей когерентности для оценки характера изменений пространственно-временного паттерна ЭЭГ.

Ключевые слова: нейротерапия, ЭЭГ, когерентность, дети, тревожность, внимание.

ВВЕДЕНИЕ

В показателях мощности и когерентности ЭЭГ находят отражение различные аспекты деятельности мозга. При этом мощность потенциалов различных диапазонов ЭЭГ рассматривают как характеристику локальной активности нейронных ансамблей в той или иной области коры, а когерентность – как показатель степени связанности и согласованной работы нейронных ансамблей различных отделов коры головного мозга [1; 2]. В частности, анализ когерентности ЭЭГ сигналов в парах корковых зон позволяет оценить степень их функциональной связанности (functional connectivity), которая определяется как корреляция пространственно удаленных нейрофизиологических событий [3], в данном случае частотных составляющих ЭЭГ [4]. В литературе можно найти значительное количество исследований, в которых рассматривается связь разных ритмических и пространственно-временных параметров ЭЭГ с составляющими интеллектуальной деятельности, такими как восприятие [5–7], внимание [8–10], память [11–13]. Также имеется ряд работ, связывающих определенные параметры ЭЭГ с успешностью выполнения интеллектуальной деятельности [14–17].

При исследовании взаимосвязи частотно-пространственных параметров ЭЭГ с уровнем интеллекта и креативности было показано, что индивидуальная вариабельность в мыслительных способностях в большей степени отражается в

особенностях когерентности, а не в мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ [15]. Показатели когерентности оказались более информативными, чем относительная или абсолютная спектральная мощность ЭЭГ, при классификации индивидов по группам с высоким или низким интеллектом [18]. По характеру когерентности можно косвенно оценить степень профессионализма испытуемых, по крайней мере, в некоторых областях творческой деятельности [19].

Ранее показано, что низкий уровень развития внимания и высокий уровень тревожности у детей объективно отражаются в параметрах ЭЭГ [20–23]. Для коррекции психофизиологического состояния человека, в частности когнитивных функций и эмоционального состояния, включая дефицит внимания и повышенную тревожность, разработаны протоколы сеансов биологической обратной связи по электроэнцефалограмме (ЭЭГ-БОС, нейротерапия). В частности, для этого используется нейробиоуправление, направленное на подавление активности в тета- и увеличение активности в альфа-диапазонах [20–23]. С целью повышения эффективности методики ЭЭГ-БОС сотрудниками лаборатории нейроэтологии и психофизиологии разработан ряд оригинальных компьютерных игр, в которых скорость движения или сила главного игрового персонажа изменяется в зависимости от соотношения мощности основных ритмов ЭЭГ. В результате проведения курса нейротерапии у детей и подростков наблюдается положительная динамика изменений показателей внимания, снижения тревожности [20–23]. При этом остается неизученным вопрос о том, как в пространственно-временных параметрах ЭЭГ отражаются механизмы воздействия сеансов ЭЭГ-БОС.

Поэтому использование спектрально-когерентного анализа в изучении эффектов нейробиоуправления возможно позволит решить следующие задачи: оценить изменения взаимоотношений ритмической активности регионов неокортекса, более детально проанализировать успешность данного метода, создать новые протоколы, направленные на коррекцию пространственно-временных параметров ЭЭГ, выявить нейрофизиологические механизмы изменений корково-корковых функциональных взаимодействий во время воздействия сеансов нейротерапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценку эффективности разработанных новых методов коррекции психофизиологического состояния с применением цветовой и звуковой ЭЭГ-БОС проводили в серии экспериментов, в которых приняли участие десять практически здоровых испытуемых от пяти до одиннадцати лет (средний возраст – $7,10 \pm 1,52$). Дети отличались повышенным уровнем тревожности и сниженными показателями произвольного внимания. С детьми проводились тренинги, состоящие из 10 сеансов ЭЭГ-БОС. До и после прохождения тренинга регистрировали ЭЭГ при закрытых и открытых глазах и проводили психологическое тестирование.

Регистрация и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа (фирма «Тредекс», Украина). В качестве рабочей программы использовалась EEG Mapping 3 (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от

локусов Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, T3, T4, C3, C4, T5, T6, P3, P4, O1 и O2 в соответствии с международной системой «10-20». Частота оцифровки сигнала составляла 200 Гц.

В качестве референтного электрода в каждом случае использовали все электроды, кроме активного, объединенные вместе. Обработка ЭЭГ во время проведения сеансов ЭЭГ-БОС основывалась на использовании цифровых фильтров Баттерворта четвертого порядка. Проводился спектральный анализ ЭЭГ с расчетом амплитуды в диапазонах: дельта-ритма (1–4 Гц), тета-ритма (4–8 Гц), альфа-ритма (8–13 Гц), бета-ритма (14–30 Гц), гамма-ритма (30–48 Гц).

Сеансы ЭЭГ-БОС проводились два раза в неделю. Длительность одного сеанса составляла 30 мин. Сеанс включал в себя несколько (шесть–восемь) эпизодов записей ЭЭГ с использованием различных протоколов нейротерапии, чередующихся в случайном порядке. Во время проведения сеанса испытуемый располагался в удобном кресле. В случае применения акустических протоколов испытуемый сидел с закрытыми глазами и звуковой сигнал обратной связи (ОС) подавался через колонки. При использовании визуальных протоколов испытуемый располагался перед экраном монитора, на котором предъявлялись различные варианты зрительных сигналов ОС. Во всех протоколах сигнал ОС менялся в зависимости от характеристик тренируемых ритмов в локусе С4. Перед тренингом испытуемому предоставляли необходимые сведения о процедуре и объясняли зависимость параметров сигнала ОС от психоэмоционального состояния.

При использовании визуального протокола на экране монитора предъявлялись картинки, представляющие собой изображения природы. Яркость цветов определенных элементов картинки (например, плодов на дереве, солнца, цветов) менялась в прямой зависимости от величины амплитуды альфа-ритма: чем больше данная величина, тем ярче становились цвета.

Акустические протоколы были представлены тремя вариантами:

1. регуляция громкости «белого шума» – интенсивность «белого шума» изменялась в обратной зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем меньшую громкость имел «белый шум»;

2. регуляция громкости «белого шума» на фоне музыки – интенсивность «белого шума» изменялась на фоне музыки, имеющей постоянную громкость, в обратной зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем меньшую громкость имел «белый шум»;

3. регуляция громкости музыки – громкость музыки изменялась в прямой зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем громче звучала музыка.

Игровой протокол предполагал изменение скорости движения или силы главного игрового персонажа, зависящей от величины отношения амплитуды альфа-к амплитуде тета-ритма: чем больше данная величина, тем больше становится скорость или сила игрового персонажа.

Остальные подробности проведения тренингов описаны ранее [20–23].

По окончании сеансов спектры ЭЭГ вычислялись следующим образом. Весь интервал записи ЭЭГ разбивался на отрезки (эпохи анализа) по 2,0 с (перекрывание эпох – 50 %). Сигналы обрабатывали с помощью быстрых преобразований Фурье; применялось сглаживание по методу Блекмена. Подавление просачивания энергии через боковые максимумы проводилось с помощью сглаживания каждого из отрезков временным окном Ханна. Если амплитуда сигнала хотя бы в одном из обрабатываемых каналов была больше 100 мкВ, данный отрезок ЭЭГ считался артефактным и удалялся. Спектры ЭЭГ были рассчитаны: для записей «Глаза закрыты», до первого и перед десятым сеансами курса нейротерапии.

С помощью оригинальной программы EEG Mapping 5 (программист – Луцок Н. В.) вычисляли показатели когерентности между активными электродами по следующей формуле (1):

$$C^2_{xy}(f) = \frac{(S_{xy}(f))^2}{(S_{xx}(f) \times S_{yy}(f))} \quad (1)$$

где $C_{xy}(f)$ – значение кросс-спектра, $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ – значения автоспектра биопотенциалов сравниваемых точек X и Y на частоте f [1].

Проведение когерентного анализа для близлежащих и удаленных областей мозга в пределах каждого из полушарий и для одноименных областей мозга правого и левого полушарий позволяет характеризовать короткие и длинные внутри- и межполушарные связи соответственно. Определялись меры центральной тенденции, включая средние значения и медианы, а также меры разброса – стандартные отклонения и квартили когерентности до первого и перед десятым сеансами курса нейротерапии. Для сравнительного анализа использовали критерий Вилкоксона. Статистически значимыми считали изменения показателей при уровне $p < 0,05$. При $0,05 < p < 0,10$ изменения рассматривали как статистическую тенденцию.

Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и было одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных позволил выявить, что сеансы нейротерапии, направленные на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение – в диапазоне тета-ритма в локусе С4, сопровождались широко распространенными изменениями спектров мощности ЭЭГ. В целом величины амплитуд тренируемых ритмов изменялись в желаемом направлении. При этом у детей отмечен ряд позитивных перестроек психофизиологического состояния, включая снижение тревожности и улучшение показателей произвольного внимания, подобных изменениям, наблюдаемым в предыдущих работах [20–23].

С целью оценки эффективности биоуправления нами проведен анализ когерентности записей ЭЭГ во время первого и десятого сеансов нейротерапии. При

этом выявлен ряд статистически значимых изменений функциональных связей суммарной активности мозговых структур в рамках анализируемых ритмов (рис. 1).

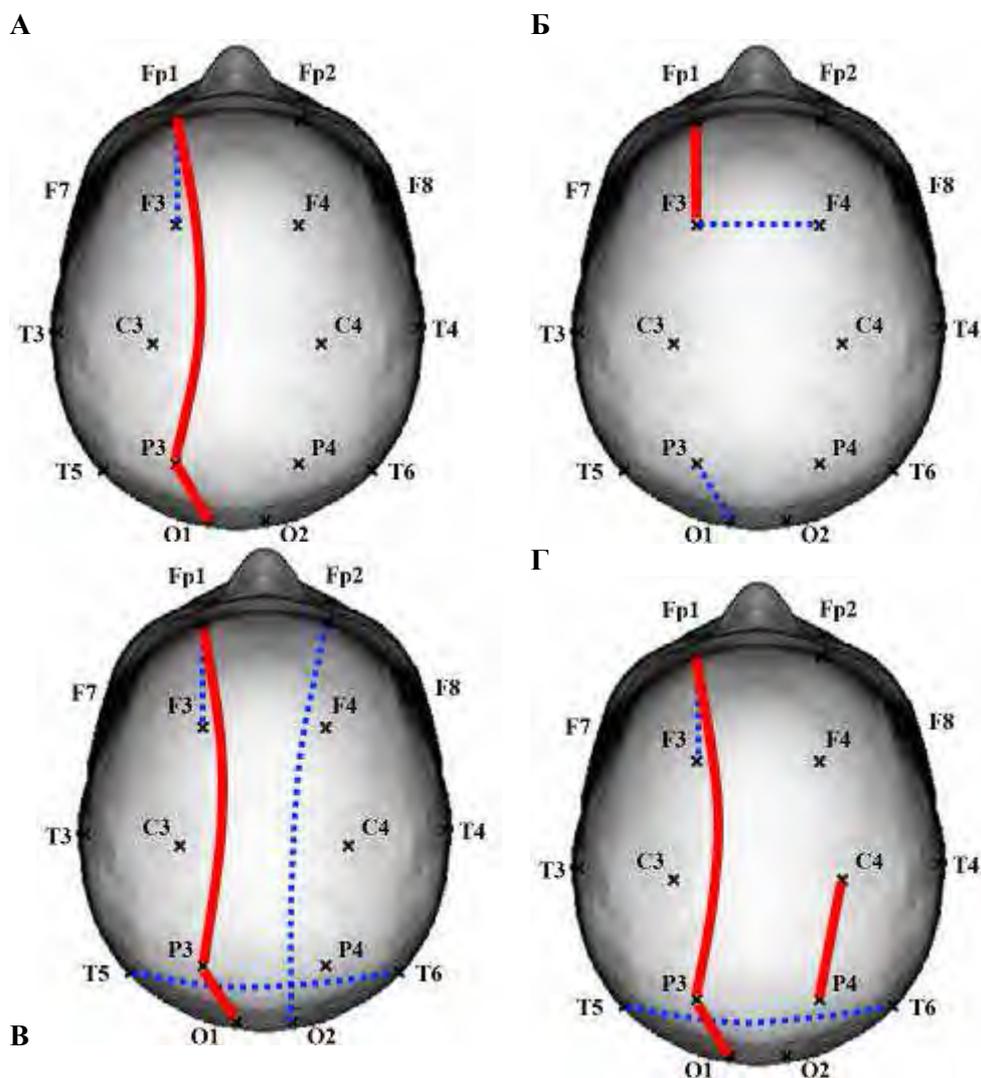


Рис. 1. Топография изменений когерентности тета- (А), альфа- (Б), бета- (В), и гамма- (Г) ритмов ЭЭГ.

Сплошными линиями обозначены связи между отведениями, продемонстрировавшими статистически значимые изменения по сравнению с исходным уровнем, пунктиром – тенденции.

В диапазоне тета-ритма ЭЭГ когерентность между отведениями Fp1 и F3 имела тенденцию ($p=0,09$) к значимому росту (рис. 1, А). Статистически значимое ($p<0,05$)

увеличение когерентности наблюдалось исключительно в левом полушарии между отведениями О1 и Р3 (на 15,9 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (на 9,8 %).

Увеличение когерентности в альфа-диапазоне в паре О1-Р3, а также между локусами F3 и F4 имело одинаковую по величине статистической значимости тенденцию ($p=0,07$) (рис. 1, Б). В этом диапазоне ЭЭГ статистически значимое увеличение когерентности на 34,9 % наблюдалось между фронтальными отведениями Fp1 и F3.

Обращает на себя внимание эффект курса нейротерапии, который проявляется в изменении функциональной связи значительного числа активности мозговых структур в диапазоне бета-ритма ЭЭГ (рис. 1, В). В этом диапазоне ЭЭГ когерентность между отведениями Fp1 и F3, T5 и T6, а также О2 и Fp2 имела тенденцию к значимому росту ($p=0,07$, $p=0,06$, $p=0,09$ соответственно). Статистически значимое увеличение когерентности в левом полушарии наблюдалось между отведениями О1 и Р3 (на 14,3 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (15,1 %). В правом полушарии статистически значимое увеличение когерентности наблюдалось между отведениями Р4 и С4 (на 20,4 %).

Увеличение когерентности в гамма-диапазоне между отведениями Fp1 и F3, T5 и T6 имело тенденцию ($p=0,09$, $p=0,06$, соответственно) к значимому росту (рис. 1, Г). Статистически значимое увеличение когерентности в левом полушарии наблюдалось между отведениями О1 и Р3 (на 17,3 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (на 17,6 %). В правом полушарии статистически значимое увеличение когерентности наблюдалось между отведениями Р4 и С4 (на 16,7 %).

Следует напомнить, что в настоящем исследовании у испытуемых отмечался повышенный уровень тревожности. Ввиду присутствия в головном мозге человека множественных активирующих систем, участвующих в организации эмоциональных состояний, А. М. Прихожан предполагает, что, возможно, на фоне высокой тревожности могут формироваться специфические функциональные системы, представляющие различные комбинации ритмической активности ЭЭГ [24]. Несмотря на немногочисленность экспериментальной выборки, наличие статистически значимых изменений когерентности ритмов ЭЭГ указывает на существенные перестройки функциональных связей мозговых структур. Предполагается, что наблюдаемое в результате десятикратного курса ЭЭГ-БОС значимое увеличение когерентности ритмов ЭЭГ является отражением перестроек изначально негативных комбинаций ритмической активности мозга. Возможно, что формирование новых пространственно-временных паттернов активности обуславливает наблюдаемые позитивные изменения психофизиологического состояния детей после прохождения сеансов ЭЭГ-БОС.

При анализе когерентности ЭЭГ нами зафиксировано изменение ее структуры после курса биоуправления, заключающееся в перестройках внутрислоушарной когерентности между лобными и теменно-затылочными отделами. Аналогичные результаты были получены при исследовании когерентности при выполнении задачи, вовлекающей процессы зрительного восприятия и запуска ответных реакций [25].

В контексте анализа наблюдаемых изменений когерентности ЭЭГ детей следует рассмотреть перестройки, происходящие в данном возрасте. Возраст детей, принявших участие в исследованиях, был, как указано в разделе, в пределах от 5 до 11 лет. Основные тенденции в формировании ЭЭГ у детей можно описать как незначительное увеличение альфа- и бета-ритмов и скачкообразное – тета-ритма [26]. По крайней мере, в одном исследовании было показано, что ЭЭГ детей соответствующего возраста оставалась стабильной, надежность значения абсолютных спектров составляла 0,71 [27]. Продолжительность курса биоуправления составляет в среднем два месяца, поэтому зарегистрированные нами изменения можно с определенной степенью уверенности связать с воздействием курса ЭЭГ-БОС, нежели с возрастными изменениями.

По исторически сложившейся классификации, разработанной с учетом миелоархитектоники, онтогенетического развития, а также функциональной роли, лобные доли коры больших полушарий рассматриваются многими авторами как передняя или лобная ассоциативная зона. Этот регион играет ведущую роль в организации сложных форм поведения и, вероятно, интеллектуальной деятельности человека [1; 7]. Естественно, что она имеет тесные взаимосвязи с моторными центрами коры. В настоящее время лобная кора рассматривается как одна из частей системы контроля управления (executive control system). Эта система координирует нейронные процессы, направленные на контроль поведения, определение цели поведения, вовлечения и подавления ментальных операций, определение порядка в сложных ответных реакциях с учетом состояния организма [28; 29]. Считается, что лобные доли головного мозга играют главную роль в процессе регулирования настроения и произвольного внимания [30].

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют об эффективности когерентного анализа в качестве инструмента для оценки формирования новых пространственно-временных паттернов ЭЭГ-активности при коррекции психоэмоционального состояния и внимания детей методом нейротерапии.

На основании полученных результатов можно полагать, что когерентный анализ ЭЭГ, отражающий взаимосвязи между определенными зонами коры в интегративной деятельности мозга, является информативным для исследования механизмов нейротерапии. Курс ЭЭГ-БОС, включающий 10 сеансов, приводит к долговременным позитивным изменениям функционального состояния мозга, что отражается в изменении не только спектров мощности [20–23], но и когерентности ЭЭГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Курс ЭЭГ-БОС с участием детей в возрасте от 5 до 11 лет с повышенной тревожностью и сниженным вниманием, включающий 10 сеансов, приводит к долговременным позитивным изменениям функционального состояния мозга, что отражается в изменении не только спектров мощности, но и в статистически значимом изменении когерентности ритмов ЭЭГ.

2. Выявлено, что в результате проведенного курса сеансов ЭЭГ-БОС наблюдается статистически значимое увеличение коэффициентов когерентности основных ритмов преимущественно между лобными и теменно-затылочными отделами левого полушария.
3. Рекомендуются использование когерентного анализа в качестве инструмента для оценки результативности коррекции психофизиологического состояния детей методом обратной связи по характеристикам ЭЭГ.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Ливанов М. Н. Пространственная организация процессов головного мозга / М. Н. Ливанов. – М.: Наука, 1972. – 182 с.
2. Бехтерева Н. П. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность / Н. П. Бехтерева, Ж. В. Нагорнова // Физиология человека. – 2007. – № 5. – С. 5–13.
3. Fingelkurts An. A. Functional connectivity in the brain – is it an elusive concept? / An. A. Fingelkurts, Al. A. Fingelkurts, S. A. Kähkönen // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2005. – Vol. 28, No 8. – P. 827–836.
4. Мачинская Р. И. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7–8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 5–19.
5. Aoki F. Changes in power and coherence of brain activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks / F. Aoki, E. E. Fetz, L. Shupe, G. A. Ojemann // Biosystems. – 2001. – Vol. 63, No 1–3. – P. 89–99.
6. Hanslmayr S. Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects / S. Hanslmayr, A. Aslan, T. Staudigl, W. Klimesch et al. // Neuroimage. – 2007. – Vol. 37, No 4. – P. 1465–1473.
7. Zhang Y. Prestimulus cortical activity is correlated with speed of visuomotor processing / Y. Zhang, X. Wang, S. Bressler, Y. Chen, M. Ding // J. Cogn. Neurosci. – 2008. – Vol. 20, No 10. – P. 1915–1925.
8. Pulvermüller F. High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing / F. Pulvermüller, N. Birbaumer, W. Lutzenberger, B. Mohr // Progress Neurobiol. – 1997. – Vol. 52, No 5. – P. 427–445.
9. Fries P. Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention / P. Fries, J. H. Reynolds, A. E. Rorie, R. Desimone // Science. – 2001. – Vol. 291, No 5508. – P. 1560–1563.
10. Hanslmayr S. The role of alpha oscillations in temporal attention / S. Hanslmayr, J. Gross, W. Klimesch, K. L. Shapiro // Brain Res. Rev. – 2011. – Vol. 67, No 1. – P. 331–343.
11. Sarnthein J. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory / J. Sarnthein, H. Petsche, P. Rappelsberger, G. L. Shaw et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1998. – Vol. 95, No 12. – P. 7092–7096.
12. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // Brain research reviews. – 1999. – Vol. 29, No 2–3. – P. 169–195.

13. Klimesch W. The functional significance of theta and upper alpha oscillations / W. Klimesch, B. Schack, P. Sauseng // *Exp. Psychol.* – 2005. – Vol. 52, No 2. – P. 99–108.
14. Hummel F. Larger interregional synchrony is associated with greater behavioral success in a complex sensory integration task in humans / F. Hummel, C. Gerloff // *Cereb. Cortex.* – 2005. – Vol. 15, No 5. – P. 670–678.
15. Разумникова О. М. Индивидуальные особенности полушарной активности, определяющие успешность решения эвристической задачи / О. М. Разумникова // *Асимметрия.* – 2009. – Т. 3, № 1. – С. 37–50.
16. Rilk A. J. Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task / A. J. Rilk, S. R. Soekadar, P. Sauseng, C. Plewnia // *Neuropsychologia.* – 2011. – Vol. 49, No 13. – P. 3704–3709.
17. Farber D. A. Functional organization of the brain during preparation for recognition of image fragments / D. A. Farber, R. I. Machinskaya, A. V. Kurganskii, N. E. Petrenko // *Neuroscience and Behavioral Physiology.* – 2015. – Vol. 45, No 9. – P. 1055–1062.
18. Thacher R. W. EEG and intelligence: relations between EEG coherence, EEG phase delay and power / R. W. Thacher, D. North, C. Biver // *Clin. Neurophysiol.* – 2005. – Vol. 116, No 9. – P. 2129–2141.
19. Свидерская Н. Е. Влияние информационного перенасыщения на качество творческой деятельности и пространственную организацию электроэнцефалограммы / Н. Е. Свидерская // *Физиология человека.* – 2011. – Т. 37, № 6. – С. 28–34.
20. Луцок Н. В. Модуляция внимания у здоровых детей с помощью курса сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ / Н. В. Луцок, Е. В. Эйсмонт, В. Б. Павленко // *Нейрофизиология.* – 2006. – Т. 38, № 5/6. – С. 458–465.
21. Эйсмонт Е. В. Коррекция тревожности у детей и подростков с помощью курса сеансов обратной связи по характеристикам электроэнцефалограммы / Е. В. Эйсмонт, Т. А. Алиева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 286–294.
22. Эйсмонт Е. В. Снижение повышенной тревожности у детей и подростков с помощью нейротерапии: оценка эффективности / Е. В. Эйсмонт, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Нейрофизиология / Neuropsychology.* – 2011. – Т. 43, № 1. – С. 63–72.
23. Эйсмонт Е. В. Применение технологии ЭЭГ-биоуправления для коррекции психоэмоционального состояния детей / Е. В. Эйсмонт, Т. А. Алиева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Бюллетень сибирской медицины.* – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 175–181.
24. Прихожан А. М. Психология сиротства. 2-е изд. / А. М. Прихожан, Н. Н. Толстых. – СПб.: Питер, 2005. – 400 с.
25. Tremblay M. Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects / M. Tremblay, D. Lacroix, Y. Chaput, V. Fraile [et al.] // *Neuroreport.* – 1994. – Vol. 5, No 18. – P. 2449–2453.
26. Somsen R. J. Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra / R. J. Somsen, B. J. van't Klooster, M. W. van der Molen [et al.] // *Biol. Psychol.* – 1997. – Vol. 44, No 3. – P. 187–209.
27. Fein G. EEG spectra in 9-13-year-old boys are stable over 1-3 years / G. Fein, D. Galin, C. D. Yingling [et al.] // *EEG and Clin. Neurophysiol.* – 1984. – Vol. 58, No 6. – P. 517–518.
28. Андреева Н. Г. Структурно-функциональная организация нервной системы / Н. Г. Андреева. – СПб.: Изд-во СПбГУ., 2003. – 262 с.
29. Posner M. I. The attention system of the human brain / M. I. Posner, S. E. Peterson. // *Ann. Rev. Neurosci.* – 1990. – Vol. 13. – P. 25–42.
30. Stuss D. T. No longer gage: Frontal lobe dysfunction and emotional changes / D. T. Stuss, C. A. Gow, C. R. Hetherington // *Journal of Consulting and Clinical Psychology.* – 1992. – No 60. – P. 349–359. doi:10.1037/0022-006X.60.3.349.

**CHANGE OF EEG COHERENCE AFTER RESULTS OF THE COURSE OF
NEUROTHERAPY BY CHILDREN 5-11 YEARS**

Kulichenko A. M., Eismont E. V., Pavlenko V. B.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com

EEG coherence changes were studied as a result of a ten-fold training course aimed at increasing the power of the EEG signal in the alpha-rhythm range and decreasing in the theta-wave range. 10 children with increased anxiety and reduced indices of voluntary attention took part in the studies. EEG from 16 scalp electrodes was recorded before and after the course of biofeedback sessions. For comparative analysis, the Wilcoxon test was used. Statistically significant changes in the indices at the level $p < 0,05$ were considered. At $0,05 < p < 0,10$, the changes were considered as a statistical trend.

It was revealed that a statistically significant ($p < 0,05$) increase in the coherence coefficients of the wide spectrum of patients correlated with the improvement of the patients' state was observed as a result of the tenfold rate of alpha/theta training of the EEG of the sensorimotor zone of the right hemisphere (C4) of the brain aged 5–11 years rhythms between the frontal and parietal-temporal divisions of the left hemisphere. Among the most pronounced changes in the EEG coherence detected by comparing the EEG recordings before the last and first biofeedback sessions when the children were still (eyes closed), attention should be paid to the statistically significant increase in medians of this indicator in the beta and gamma bands in the short the right hemisphere pair P4-C4 – by 20,4 % ($p = 0,017$) and 16,7 % ($p = 0,047$), respectively. In the short pairs of the left hemisphere, there was also a significant increase in coherence. Thus, in the pair O1-P3, an increase in coherence in the theta range was observed at 15,9 % ($p = 0,047$); in the alpha range, coherence growth of 14,8 % was manifested in the trend ($p = 0,074$), in beta and gamma- the ranges of coherence values increased by 14,3 % ($p = 0,022$) and 17,3 % ($p = 0,013$), respectively. In the pair F3-Fp1, there was a tendency for a significant increase in the studied parameter in the theta range by 4,1 % ($p = 0,093$), in the alpha range the increase was 34,9 % ($p = 0,028$), in the beta and gamma ranges the increase in coherence by 17,0 % and 12,0 % did not reach statistical significance and manifested itself in the trend ($p = 0,074$ and $p = 0,093$, respectively).

Long intra-hemispheric connections also showed a number of changes. Thus, in the right-hand hemisphere pair O2-FP2, there was a tendency to decrease coherence in the beta band by 12,6 % ($p = 0,093$). In the left hemisphere, the P3-Fp1 pair showed statistically significant increases in coherence in the theta range by 9,8 % ($p = 0,037$), in beta and gamma-by 15,1 % ($p = 0,028$) and 17,6 % ($p = 0,047$), respectively.

Analysis of interhemispheric connections allowed to reveal a tendency to increase in coherence for the F4-F3 pair in the alpha range by 2,7 % ($p = 0,074$); in the T6-T5 pair, the coherence was reduced in the beta and gamma bands by 9,0 % ($p = 0,059$) and 10,0 % ($p = 0,059$), respectively.

The EEG-BOS course, which includes 10 sessions, leads to long-term positive changes in the functional state of the brain, which is reflected in a change in not only the

power spectra, but also the coherence of the EEG rhythms. The results indicate the advisability of applying coherence to assess the nature of the changes in the spatio-temporal pattern of the EEG.

Keywords: neurotherapy, EEG, coherence, children, anxiety, attention.

References

1. Livanov M. N., *Prostranstvennaya organizaciya processov golovnogogo mozga* (Moskva, Nauka, 1972).
2. Bekhtereva N. P., Nagornova Zh. V., Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (figurative) creativity, *Fiziol. cheloveka*, **5**, 5 (2007).
3. Fingelkurts An. A., Functional connectivity in the brain – is it an elusive concept? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **28**, 827 (2005).
4. Machinskaya R. I., Kurganskiĭ A. V., A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children of 7–8 years old. An analysis of coherence of EEG rhythms, *Fiziol. cheloveka*, **38**, 5 (2012).
5. Aoki F., F. Aoki, Fetz E. E., Shupe L., Ojemann G. A., Changes in power and coherence of brain activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks, *Biosystems*, **63**, 89 (2001).
6. Hanslmayr S., Aslan A., Staudigl T., Klimesch W. [et al.], Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects, *Neuroimage*, **37**, 1465 (2007).
7. Zhang Y., Wang X., Bressler S., Chen Y., Ding M., Prestimulus cortical activity is correlated with speed of visuomotor processing, *J. Cogn. Neurosci.*, **20**, 1915 (2008).
8. Pulvermüller F., Birbaumer N., Lutzenberger W., Mohr B., High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing, *Progress Neurobiol.*, **52**, 427 (1997).
9. Fries P., Reynolds J. H., Rorie A. E., Desimone R. Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention, *Science*, **291**, 1560 (2001).
10. Hanslmayr S., Gross J., Klimesch W., Shapiro K. L., The role of alpha oscillations in temporal attention. *Brain Res. Rev.*; **67**, 331 (2011).
11. Sarnthein J., Petsche H., Rappelsberger P., Shaw G. L. [et al.], Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **95**, 7092 (1998).
12. Klimesch W., EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis, *Brain research reviews*, **29**, 169 (1999).
13. Klimesch W., Schack B., Sauseng P., The functional significance of theta and upper alpha oscillations, *Exp. Psychol.*, **52**, 99 (2005).
14. Hummel F., Gerloff C., Larger interregional synchrony is associated with greater behavioral success in a complex sensory integration task in humans, *Cereb. Cortex*, **15**, 670 (2005).
15. Razumnikova O. M., Individual'nye osobennosti polusharnoj aktivnosti, opredelyayushchie uspešnost' resheniya ehvristicheskoy zadachi, *Asimetriya*, **3**, 37 (2009).
16. Rilk A. J., Soekadar S. R., Sauseng P., Plewnia C., Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task, *Neuropsychologia*, **49**, 3704 (2011).
17. Farber D. A., Machinskaya R. I., Kurganskiĭ A. V., Petrenko N. E., Functional organization of the brain during preparation for recognition of image fragments, *Neuroscience and Behavioral Physiology*, **45**, 1055 (2015).
18. Thacher R. W., North D., Biver C., EEG and intelligence: relations between EEG coherence, EEG phase delay and power, *Clin. Neurophysiol*, **116**, 2129 (2005).
19. Sviderskaia N. E., Influence of information over saturation on quality of creative activity and EEG spatial organization, *Fiziol. Cheloveka*, **37**, 28 (2011).
20. Lutsyuk N. V., Eismont E. V., Pavlenko V. B., Modulation of attention in healthy children using a course of EEG-feedback sessions, *Neirofiziologiya/Neurophysiology*, **38**, 458 (2006).
21. Eysmont E. V., Alieva T. A., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Correction of anxiety in children and adolescents through the course of feedback sessions on the characteristics of the electroencephalogram, *Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **22** (61), 286 (2009).

22. Eismont E. V., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Moderation of increased anxiety in children and teenagers with the use of neurotherapy: estimation of the efficacy, *Neurophysiology*, **43**, 63 (2011).
23. Eismont Y. V., Aliyeva T. A., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Application of EEG feedback for the correction of psychoemotional state of children, *Bulletin of Siberian Medicine*, **12**, 175 (2013) DOI:10.20538/1682-0363-2013-2-175-181.
24. Prihozhan A. M., Tolstyh N. N. *Psihologiya sirotstva*. 2-e izd. (SPb.: Piter, 2005).
25. Tremblay M., Lacroix D., Chaput Y., Fraile V. [et al.], Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects, *Neuroreport*, **5**, 2449 (1994).
26. Somsen R. J., van't Klooster B. J., van der Molen M. W. [et al.], Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra, *Biol. Psychol*, **44**, 187 (1997).
27. Fein G., Galin D., Yingling C. D. [et al.], EEG spectra in 9-13-year-old boys are stable over 1–3 years, *EEG and Clin. Neurophysiol.*, **58**, 517 (1984).
28. Andreeva N. G., *Strukturno-funkcional'naya organizatsiya nervnoj sistemy* (SPb., Izd-vo SPbGU, 2003).
29. Posner M. I., Peterson S. E., The attention system of the human brain, *Ann. Rev. Neurosci.*, **13**, 25 (1990).
30. Stuss D. T., Gow C. A., Hetherington C. R., No longer gage: Frontal lobe dysfunction and emotional changes, *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, **60**, 349 (1992) doi:10.1037/0022-006X.60.3.349.