

БИОУПРАВЛЕНИЕ И СИНДРОМ ДЕФИЦИТА ВНИМАНИЯ

УДК 612.821

И.С. Никишени, Ю.Д. Кропотов, В.А. Пономарев, В.А. Гринь-Яценко,
Е.А. Яковенко, Е.Н. Белякова

ДИНАМИКА СПЕКТРОВ МОЩНОСТИ И КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ В ХОДЕ КУРСА БЕТА1-ТРЕНИНГА У ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ ВНИМАНИЯ

Институт мозга человека РАН, Санкт-Петербург

Изучались изменения спектров мощности и когерентности ЭЭГ как в ходе одного сеанса биоуправления, направленного на увеличение бета1-ритма, так и их изменения в результате всего курса тренинга. В исследованиях приняли участие 39 детей с нарушениями внимания. ЭЭГ с 19 скальповых электродов регистрировалась до и после курса лечения и во время одного из сеансов биологической обратной связи. Показано, что во время тренировки бета1-ритма в точках Fz-C3 наблюдается широко распределенное увеличение бета-активности преимущественно в лобных отведениях, снижение альфа-активности в теменно-затылочных зонах мозга и уменьшение когерентности ЭЭГ. Наблюдались изменения мощности ЭЭГ в частотных диапазонах тета (4–7,5), альфа (8–12 Гц), бета 2 (18–25 Гц) и структуры когерентности ЭЭГ, вызванные прохождением курса тренировок и коррелирующие с улучшением состояния пациентов.

Ключевые слова: нарушения внимания, дети, биоуправление

Данные литературы показывают, что ЭЭГ здоровых испытуемых отличается от ЭЭГ детей с дефицитом внимания. В частности, у детей с синдромом нарушения внимания и гиперактивности (СНВГ) повышена мощность медленноволновой активности в диапазоне тета-волн, преимущественно в лобно-центральных областях [17, 18, 32, 33, 37], и/или уменьшена мощность волн в диапазоне 12–21 Гц [20, 32].

Исследования, в которых анализировалась когерентность у детей с СНВГ, единичны [10, 17, 22, 37]. Часть авторов сообщает об увеличении межполушарной когерентности в альфа- и тета-диапазонах [10, 37]. Chabot & Serfontain [17] отмечают увеличение межполушарной когерентности, которое затрагивает, в первую очередь, фронтальные и затылочные отделы коры, и снижение когерентности в центральных и теменных отделах.

Наиболее полное исследование когерентности у детей с СНВГ по сравнению с их здоровыми сверстниками принадлежит Барри и соавт. [19]. Эти исследователи зарегистрировали уменьшение внутри- и межполушарной когерентности в альфа-диапазоне; межполушарной когерентности – в бета-диапазоне и, наоборот, увеличение меж- и внутриполушарной когерентности в тета- и дельта-диапазонах.

Одним из методов лечения СНВГ является нейробиоуправление [3, 25, 28, 29], при проведении которого используются протоколы, направленные на подавление медленноволновой активности, обычно в тета-диапазоне (4–7 Гц), и увеличение быстроволновой активности в бета1-диапазоне (15–18 Гц). Наблюдается положительная динамика изменения показателей внимания, полученных при анализе данных клинического обследования и/или психофизиологического тестирования, в результате нейробиоуправления [3, 28, 33, 36, 38].

Целью данного исследования явилось изучение изменений коррелятов функционального состояния ЦНС в процессе ЭЭГ-биоуправления. Для решения поставленной цели нами были определены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ спектров мощности и когерентности ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования и во время бета1-тренинга;

2. Провести анализ спектров мощности и когерентности ЭЭГ до и после курса биологической обратной связи (БОС).

Методика. В исследовании участвовали 39 детей с симптомами СНВГ (36 мальчиков и 3 девочки в возрасте 9–14 лет). Синдром нарушения внимания и гиперактивности был диагностирован на основе данных опроса родителей, результатов психологического тестирования (Test of Variables of Attention – TOVA и неврологического обследования по критериям DSM-4 и МКБ-10 [6, 11] с учетом данных анализа вызванных потенциалов в двустимульной парадигме Go/No-Go и записи ЭЭГ [1].

Психологическое тестирование включало Test of Variables of Attention (TOVA) [23]. TOVA разработан как тест непрерывной деятельности; основан на предъявлении пациенту зрительных стимулов (GO-стимулов, требующих ответной реакции, и NOGO-стимулов, не требующих ответной реакции). Тест дает возможность оценить состояние внимания по отношению к нормативным данным.

Все участники исследования проходили курс нейробиоуправления по бета1-ритму, включающий 15–20 сеансов. Сеанс бета1-тренинга проводился по протоколу, разработанному в лаборатории нейробиологии программирования действий Института мозга человека РАН [1, 8]. Суть протокола заключается в повышении относительной мощности бета1-активности (15–18 Гц) левого

полушария у детей всех возрастных групп. Относительная мощность бета1-ритма рассчитывалась как отношение абсолютной мощности бета1-ритма к сумме абсолютных мощностей тета-, альфа-, СМР и бета2-ритмов. Сеанс бета1 состоял из записи “фоновой” ЭЭГ продолжительностью 150 с до начала тренинга и трех 4-минутных интервалов собственно бета1-тренинга, которые разделялись одноминутными интервалами отдыха.

Запись ЭЭГ. В наших исследованиях регистрация ЭЭГ производилась на 21-канальном цифровом энцефалографе МИЦАР201 (производства ООО “Мицар”, Санкт-Петербург) с 19-чашечковых хлорсеребряных электродов, закрепленных на поверхности головы при помощи пасты Ten20. Электроды располагались в соответствии с Международной системой 10–20 в точках Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2. В качестве референта использовались объединенные электроды, расположенные на мочках ушей; общий – в лобной области. Сопротивление электродов не превышало 10 кОм. Параметры ФВЧ и ФНЧ составляли, соответственно, 1,5 Гц (0,1 с) и 30 Гц; частота квантования – 250 Гц. ЭЭГ регистрировалась с использованием взвешенного среднего референта [27].

ЭЭГ регистрировалась до начала курса лечения, на 10–13-м занятии курса БОС, после курса лечения. До и после курса лечения производилась 3-минутная запись ЭЭГ с закрытыми и 3-минутная запись ЭЭГ с открытыми глазами. На занятии БОС ЭЭГ была зарегистрирована с открытыми глазами в условиях “тренировки” и “отдыха”. Испытуемые (22 чел.), показавшие на трех предыдущих сеансах устойчивое увеличение относительной мощности бета1-ритма во время тренинга по сравнению с фоновой записью ЭЭГ, приняли участие в исследовании ЭЭГ во время сеанса биоуправления.

Статистический анализ данных. Данные TOVA сравнивались с помощью непараметрического знакового критерия Фишера в состояниях до и после курса нейроуправления.

При обработке ЭЭГ прежде всего удалялись артефакты. Для удаления электрокулограммы (ЭОГ) использовался метод подавления сигналов ЭОГ, основанный на разложении многоканальной записи ЭЭГ на компоненты [24, 35] (подробнее – [2]). Также удалялись волны с амплитудой более 150 мкВ, медленные волны с частотой от 0 до 1 Гц и амплитудой выше 30 мкВ, быстрые волны с частотой от 20 до 30 Гц с амплитудой 50 мкВ. Наконец, ЭЭГ оценивалась визуально и удалялись артефакты, связанные с мышечной активностью и движениями испытуемых.

Когерентность рассчитывалась по формуле

$$C2xy(f) = (Sxy(f))^2 / (Sxx(f)Syy(f)),$$

где $Sxy(f)$ – значение кросс-спектра; $Sxx(f)$, $Syy(f)$ – значения автоспектра биопотенциалов сравниваемых точек X и Y на частоте f [4, 5, 39–41].

Функции когерентности рассчитывались для каждой пары электродов.

Спектры мощности и когерентность ЭЭГ усреднялись по частоте в 5 диапазонах: тета-ритм (4–7,5 Гц), альфа-ритм (8–12 Гц), сенсомоторный ритм (СМР) (12–15 Гц), бета1-ритм (15–18 Гц), бета2-ритм (18–25 Гц) и сравнивались с помощью двухфакторного ANOVA для повторяющихся исследований с коррек-

цией Гринхауза-Гессера на несферичность. Одним фактором была локализация пары электродов (19 электродов – для спектров ЭЭГ и 136 пар электродов – для когерентности ЭЭГ); вторым – условие записи ЭЭГ (2 варианта). Условиями записи ЭЭГ были: в одном варианте – состояния “отдых” и “тренинг”, а во втором – регистрация ЭЭГ до и после курса лечения (отдельно для записи ЭЭГ при открытых и закрытых глазах). Дополнительно значения спектров мощности ЭЭГ, полученные для условий “отдых”, “тренировка” в тета-, альфа-, СМР, бета1-, бета2-диапазонах, и отношение мощности бета1-ритма к мощности альфа-ритма сравнивались с помощью непараметрического знакового критерия Фишера.

Результаты. TOVA. При сравнении данных TOVA до и после курса лечения были получены следующие результаты. Количество ложных тревог на предъявление NOGO-стимула значительно уменьшилось после курса ЭЭГ-биоуправления в обеих половинах теста ($Z=2.69$; $p<0,01$ – для первой и $Z=4.31$; $p<0,01$ – для второй частей теста). Время реакции уменьшилось в первой половине теста ($Z=2.78$; $p<0,01$). Дисперсия времени реакции также уменьшилась в первой половине теста ($Z=2.69$; $p<0,01$). Количество правильных ответов на предъявление GO-стимула в обеих половинах теста статистически значимо не менялось.

Спектры ЭЭГ во время одного сеанса БОС. Средние спектры мощности для 19 испытуемых (трое были исключены вследствие наличия большого количества артефактов) в период отдыха и тренировки при монополярном отведении представлены на рис. 1. Спектры ЭЭГ, зарегистрированные во время периодов бета1-тренинга, характеризовались увеличением относительной мощности бета1-ритма в отведении F4 ($Z=1.96$; $p<0,05$) по сравнению с периодами отдыха.

Увеличение отношения бета1-ритм/альфа-ритм у детей, проходящих курс нейротерапии по бета1-ритму, зарегистрировано в отведениях F3 ($Z=2.33$; $p<0,05$), C3 ($Z=2.27$; $p<0,05$), P3 ($Z=2.27$; $p<0,05$), Fz ($Z=2.08$; $p<0,05$) и C4 ($Z=2.004$; $p<0,05$). На рис. 2 представлены суммарные для всей группы топограммы распределения отношения бета1-ритм/альфа-ритм во время отдыха (рис. 2.1) и тренировки (рис. 2.2).

Когерентность ЭЭГ во время сеанса БОС. При сравнении значений когерентности во время отдыха и во время тренинга у детей с СНВГ были выявлены достоверные различия в альфа- ($F(1,163)=4.224$; $p<0,05$), бета1- ($F(1,163)=5.080$; $p<0,05$) и бета2-диапазонах ($F(1,163)=8.046$; $p<0,01$). Значения когерентности во всех диапазонах уменьшались во время тренинга. Не было обнаружено статистически значимых различий по взаимодействию фактора локализации с фактором “отдых-тренинг”, что позволяет сделать вывод об отсутствии изменений структуры взаимодействия.

Спектры ЭЭГ до и после курса БОС. При сравнении когерентности ЭЭГ до и после курса БОС нами не было выявлено наличие достоверного основного эффекта по фактору условий. Однако было установлено наличие статистически значимого взаимодействия факторов условия (до-после курса БОС) и локализации как для записи ЭЭГ при открытых глазах для тета-ритма ($F(18,468)=2.66$; $p=0,001$) (рис. 3, тета), так и для записи ЭЭГ при закрытых глазах для альфа- ($F(18,666)=4.05$;

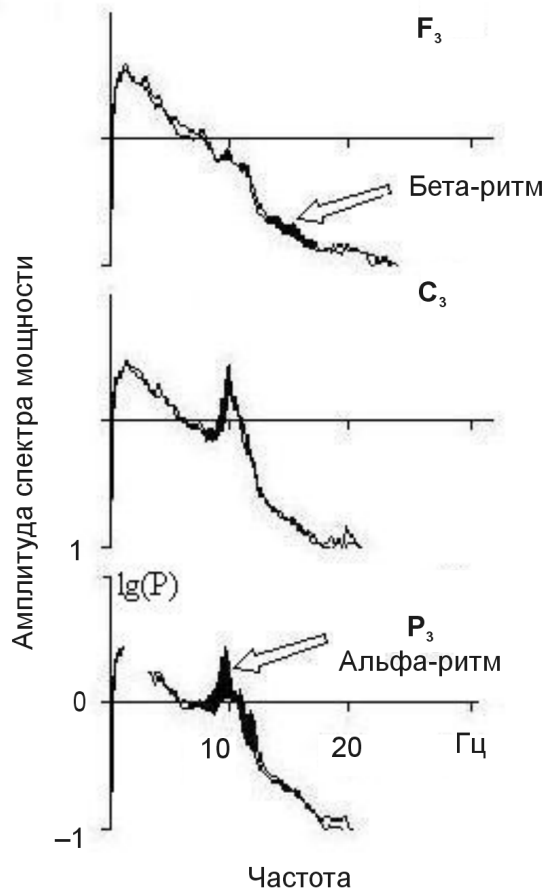


Рис. 1. Усредненные графики спектров мощности ЭЭГ у детей с СНВГ в период отдыха и тренировки при монополярном отведении (различия выделены черным цветом).

Амплитуда спектра мощности рассчитана в логарифмической шкале, $\lg(P)$

$p < 0,001$) (рис. 3, alpha), СМР ($F(18,666)=2.19$; $p=0,05$) и бета2-диапазонов ($F(18,666)=2.29$; $p < 0,05$), а также для отношения мощности бета1-и альфа-ритмов ($F(18,666)=15.67$; $p < 0,001$). Полученные результаты говорят о наличии структуры изменения мощности спектра ЭЭГ. Так, при открытых глазах происходит снижение мощности тета-ритма в отведении Cz и увеличение – в отведении Fz (рис. 3, teta). При закрытых глазах отношение бета1-ритм/альфа-ритм увеличивается в проекциях всех отведений, кроме лобных (Fp1, Fp2, F8) и затылочных (O1, O2); это происходит в большей степени за счет снижения мощности альфа-ритма после курса БОС. Мощность альфа-ритма (рис. 3, alpha) снижается после курса БОС в теменных (P3, Pz, P4), центральных (Cz, C4) и затылочных отведениях (O1, O2). В дополнение к этому, во фронтальных отведениях (F3, F4) увеличивается мощность в бета-диапазоне. В лобных и затылочных отведениях наблюдается увеличение как бета-, так и альфа-ритмов после курса. Мощность бета2-ритма при закрытых глазах снижается во всех отведениях, кроме отведений O1 и O2.

Когерентность ЭЭГ до и после курса БОС. Не было обнаружено основного эффекта по фактору влияния лечения при сравнении когерентности ЭЭГ до и после кур-

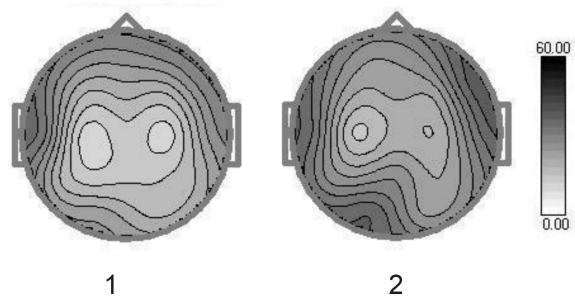


Рис. 2. Топография изменения отношения мощности бета1-ритма к мощности альфа-ритма во время сеанса био-логической обратной связи.

1 – отношение-топограмма во время периодов отдыха; 2 – отношение-топограмма во время периодов БОС;

Шкала в условных единицах – отношение мощности бета1-ритма к мощности альфа-ритма

са нейробиоуправления. В отличие от исследования, проводившегося непосредственно во время сеанса, обнаружена статистически достоверная разница по взаимодействию фактора “до-после курса тренировки” и фактора локализации пар электродов во всех исследуемых ритмах. При открытых глазах получены следующие результаты: для тета-ритма ($F(135,8100)=1.95$; $p=0,01$), альфа-ритма ($F(135,8100)=1.62$; $p=0,01$), СМР ($F(135,8100)=1.64$; $p=0,01$), бета1-ритма ($F(135,8100)=2.08$; $p=0,01$), бета2-ритма ($F(135,8100)=2.03$; $p=0,01$); при закрытых глазах – для тета-ритма ($F(135,10125)=2.35$; $p=0,01$), альфа-ритма ($F(135,10125)=1.45$; $p=0,01$), СМР ($F(135,10125)=2.40$; $p=0,01$), бета1-ритма ($F(135,10125)=2.33$; $p=0,01$), бета2-ритма ($F(135,10125)=2.51$; $p=0,01$).

Наличие взаимодействия фактора влияния лечения и локализации пар электродов иллюстрируется диаграммами, которые были построены следующим образом. Выбрано два порога изменений когерентности: первый – 0.08, второй – 0.04. На диаграммах (рис. 4) сплошными линиями показано увеличение или уменьшение когерентности на величину 0.08 и пунктирными – увеличение или уменьшение когерентности на величину 0.04, но меньше 0.08.

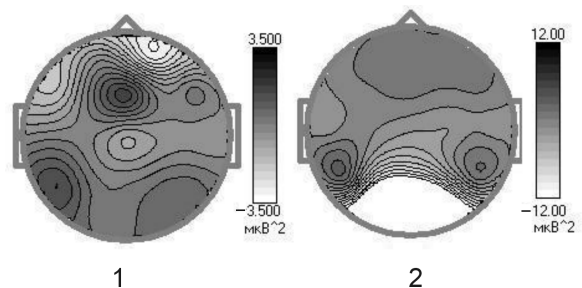


Рис. 3. Топограммы изменения значений мощности ритмов после курса БОС.

1 – топограмма разностей мощности тета-ритма после и до курса БОС; 2 – топограмма разностей мощности альфа-ритма после и до курса БОС

На диаграмме видно, что одна из явных тенденций – это увеличение когерентности ЭЭГ при открытых глазах на ближних межэлектродных расстояниях в лобно-затылочном (либо затылочно-лобном) направлении. Нами зарегистрировано увеличение когерентности после курса БОС в лобно-затылочном направлении при открытых и закрытых глазах в бета1- и тета-ритмах (рис. 4, диаграммы 4.1 и 4.2). Увеличение когерентности (рис. 4, диаграмма 4.1) в диапазоне альфа-ритма при открытых глазах происходило в лобно-центральных отведениях.

Изменения межполушарной когерентности выражены слабее, в основном это связи правой центрально-височной области (Т4) с парасагитальными отведениями противоположного левого полушария: в бета1-диапазоне с точками F3, C3, P3 – при открытых глазах, с P3 и C3 – при закрытых глазах; в альфа-диапазоне с F3 и P3 – при открытых глазах; в тета-диапазоне с F3 и P3 – при открытых и закрытых глазах, соответственно. В тета-диапазоне при открытых глазах зарегистрировано увеличение когерентности после курса БОС между лобным отведением (F4) правого и височными отведениями левого полушарий (F7, T3, T5), а также с передневисочным отведением (F8) правого полушария и центральными отведениями (Fz, Cz, Pz).

Уменьшение когерентности (рис. 4, диаграмма 4.3) было зарегистрировано только в низкочастотных диапазонах при закрытых глазах: в альфа-ритме – в лобных отведениях, преимущественно справа, и в альфа- и тета-ритмах – в паре электродов Т3–Т4.

Выводы. При исследовании спектров мощности ЭЭГ в ходе одного сеанса БОС были зарегистрированы изменения в альфа- и бета1-диапазонах. Следует подчеркнуть, что увеличение мощности бета1-ритма сопровождалось уменьшением мощности колебаний в альфа-диапазоне. Вклад этих двух процессов был различен и зависел от местоположения электрода. Изменения бета1-ритма были представлены в передних и центральных отделах; напротив, мощность альфа-ритма уменьшалась, в большей степени, в задних отделах. Таким образом, наши данные находятся в соответствии с данными о функциональной роли альфа- и бета-ритмов. Действительно, изменения в альфа-диапазоне ЭЭГ при различных задачах преимущественно или даже исключительно связывают с неспецифическими факторами, такими, как уровень внимания и бодрствования, эмоции; причем функциональное значение имеет подавление альфа-активности в ситуациях, когда те или иные участки коры головного мозга должны участвовать в осуществлении определенной деятельности [12, 30]. С этим связана точка зрения, которая предполагает, что альфа-ритм является показателем “холодного хода” мозга и подавление альфа-ритма является необходимым условием для эффективной обработки информации.

Таким образом, при выполнении задания, требующего высокого уровня внимания, происходило увеличение активности различных зон коры, что отражалось в снижении альфа-активности в этих регионах. Бета-активность большинство исследователей рассматривают как отражение когнитивных процессов и фокусирования внимания. Функциональное значение бета-ритма связывают с активной переработкой информации преимущественно в лобной зоне коры, в частности, по данным различных исследователей [14, 21], в том числе и по данным, полученным в нашей лаборатории [9], увеличение бета-ритма происходит в ситуации, связанной с предъявлением значимого стимула.

Когерентность ЭЭГ уменьшалась во время биоуправления. Снижение когерентности свидетельствует о независимой работе мозговых структур при выполнении сложной деятельности [19, 39]. Кроме того, снижение когерентности во время тренировки может быть следствием того, что также в ходе тренировки уменьшалась мощность альфа-ритма. Это связано с тем, что аль-

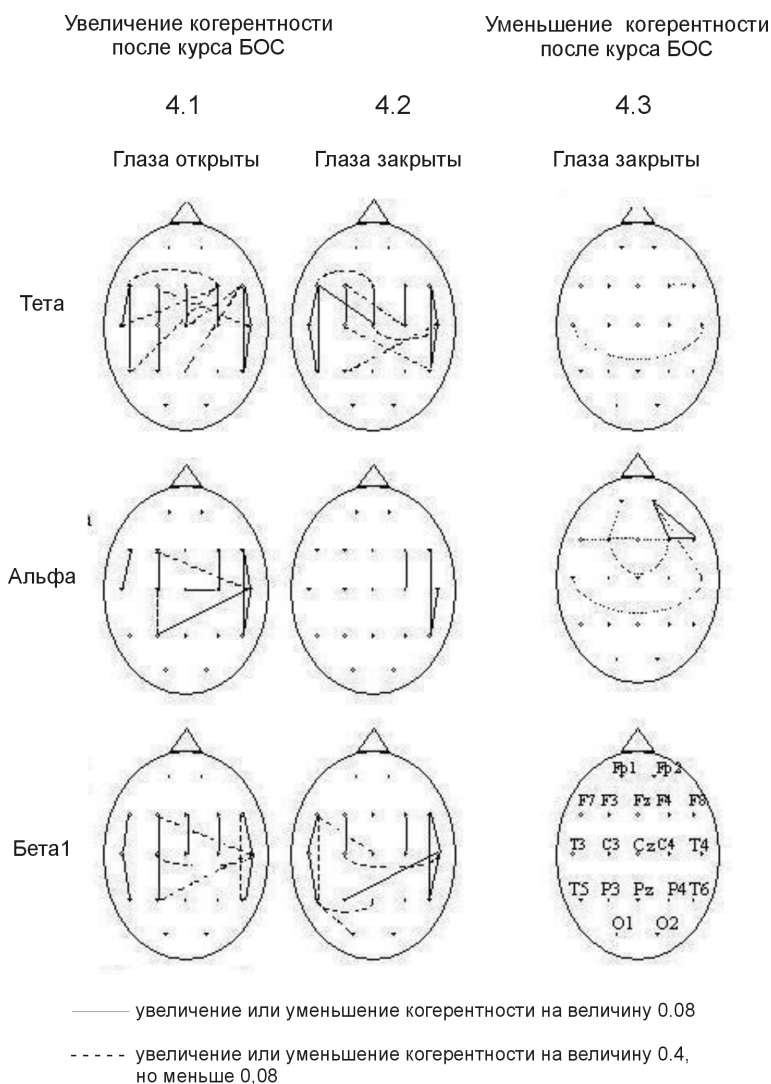


Рис. 4. Диаграмма изменения когерентности ЭЭГ после курса ЭЭГ-биоуправления по сравнению с исходной величиной

фа-ритм отличается от синусоидального и, следовательно, имеет субгармоники. Из чего следует, что значения когерентности в диапазоне частот от 15 до 20 Гц может в большой степени зависеть от значений мощности альфа-ритма.

После курса, во время которого тренировка проводилась локально в отведениях Fz-C3, при анализе спектров мощности ЭЭГ с 19 отведений нами было зарегистрировано изменение структуры спектров мощности в альфа-, бета2- и тета-диапазонах. Снижение мощности альфа-ритма в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах было максимально в проекции теменных и затылочных зон коры. Эти области принимают участие в переработке зрительной и соматосенсорной информации и, следовательно, снижение альфа-ритма, о функциональном значении которого говорилось выше, в этих областях, может свидетельствовать о повышении общего уровня активации коры [12, 30] и, как следствие этого, улучшении выполнения заданий, в нашем случае, – направленных на улучшение внимания.

Интересным также является обнаруженное нами увеличение мощности тета-ритма в лобных и большинстве центральных отведений. В последнее десятилетие появился ряд работ, в которых регистрируется увеличение активности в диапазоне 4–8 Гц в лобно-центральных отведениях у здоровых испытуемых при выполнении заданий, связанных с детекцией стимулов и функционированием рабочей памяти, что имеет гиппокампальное происхождение [16, 26]. Величина изменения этой активности коррелирует со сложностью задания. Эти данные свидетельствуют в пользу того, что увеличение тета-активности может говорить об активации соответствующих зон мозга.

Наличие высокочастотных ритмов (бета2-, гамма-ритм) является в определенных случаях критерием патологии [2], выраженной тем больше, чем больше частота сдвинута в сторону высоких частот и чем значительнее увеличена амплитуда высокочастотного ритма. Высокочастотную компоненту обычно связывают с явлениями ирритации мозговых структур. В литературе имеются данные, связывающие увеличение бета2-ритма с возрастанием тревожности [31]. Таким образом, наблюдаемое нами снижение мощности бета2-ритма может говорить о снижении тревожности, характерной для детей с СНВГ.

При анализе когерентности ЭЭГ нами было зарегистрировано изменение ее структуры после курса лечения, заключающееся в перестройках внутриполушарной когерентности в лобно-затылочном (или в обратном) направлении при открытых глазах, в основном, в сторону увеличения. Аналогичные результаты были получены при исследовании зависимости когерентности при выполнении задачи, вовлекающей процессы зрительного восприятия и выполнения ответных реакций [15].

Увеличение когерентности многие исследователи связывают с формированием доминанты и, соответственно, с вовлечением в выполнение одного задания различных зон коры [4, 5, 42, 44]. О.М. Разумникова связывает увеличение когерентности в центрально-париетальных отделах с вовлечением ресурсов внимания в выполнение задания [34]. Снижение когерентности в альфа-диапазоне зарегистрировано у детей с нарушениями внимания по сравнению с их здоровыми сверстниками

[19]. Поэтому увеличение когерентности в лобно-затылочном направлении в результате коррекции невнимательности при помощи биоуправления может говорить либо об изменении связей между структурами мозга в окципитально-фронтальном направлении, либо о наличии третьего звена в цепи, например подкорковых структур, таких, как базальные ганглии и неспецифические ядра таламуса, которое модифицирует степень интеграции различных областей коры. Указанные структуры участвуют в системе селекции-подавления действий, дисфункция которой приводит к нарушениям внимания и поведения [13, 43].

Отсутствие эффекта при закрытых глазах в альфа-диапазоне может быть объяснено особенностями записи ЭЭГ. Как известно, при закрытых глазах в состоянии спокойного бодрствования на ЭЭГ в 85–95% случаев регистрируется хорошо выраженный альфа-ритм, что и является доминирующим фактором.

Таким образом, в настоящей работе получены данные, объективно подтверждающие изменение функционального состояния мозга как в течение сеанса нейробиоуправления, так и после курса тренировок: при локальной тренировке бета-ритма в точке Fz-C3 наблюдаются как широко распространенное увеличение бета-активности (преимущественно в лобных отведениях), так и снижение альфа-активности в теменно-затылочных зонах мозга. С другой стороны, регистрируются изменения спектров мощности и когерентности ЭЭГ, вызванные прохождением курса тренировок и, по-видимому, коррелирующие с улучшением состояния пациентов. Эти данные подтверждают ранее сделанный вывод о том, что в результате ЭЭГ-тренинга, ведущего к нормализации центральных механизмов регуляции, восстановлению гемодинамических, метаболических и нейромедиаторных функций, в мозге формируется новая функциональная система, обладающая собственным эндогенным механизмом устойчивости [7].

DYNAMICS OF EEG POWER AND COHERENCE DURING RELATIVE BETA NEUROFEEDBACK IN ADHD CHILDREN

I.S. Nikishena, Yu.D. Kropotov, V.A. Ponomarev, V.A. Grin-Yatzenko, E.A. Yakovenko, E.N. Belyakova

The aim of the study was to observe changes in EEG power spectrograms and coherence curves during a single EEG biofeedback session as well as changes induced by the whole course of neurofeedback. The EEG biofeedback included training up relative beta1 (15–18 Hz) power recorded at the sites Fz-C3 bipolar. 39 ADHD children participated in the study. 19-channel EEG was recorded before and after 15–20 sessions of neurofeedback as well as during a single session. During a single session we found a statistically significant ($p < 0.05$) increase of beta activity in frontal leads associated with a decrease of alpha power in parieto-occipital sites and a decrease of coherency between all sites. The whole course of neurofeedback induced changes in theta, alpha and beta2 (18–25 Hz) bands as well as changes in coherency appear to be related to the improvement of performance of ADHD children.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние биологической обратной связи по соматосенсорному и бета1-ритму ЭЭГ на параметры внимания /

- В.А. Гринь-Яценко, Ю.Д. Кропотов, В.А. Пономарев и др. // Физиол. чел. 2001. Т. 27. № 3. С. 152.
2. Динамика когерентности ЭЭГ в ходе курса ЭЭГ-биоуправления у детей с нарушением внимания / И.С. Никишени, Ю.Д. Кропотов, В.А. Пономарев и др. // Физиол. чел. В печати.
3. Кропотов Ю.Д. Метод ЭЭГ-биоуправления в лечении синдрома дефицита внимания и гиперактивности у детей / Ю.Д. Кропотов, В.А. Пономарев, В.А. Гринь-Яценко // Физиол. чел. 2001. Т. 27. № 3. С. 5.
4. Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга / М.Н. Ливанов. М., 1972.
5. Ливанов М.Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга / М.Н. Ливанов. М., 1989.
6. Международная статистическая классификация болезней: МКБ-10. "Нарушение активности и внимания" (F90.0). "Гиперкинетическое расстройство поведения" (F90.1). Медицина, 2003.
7. Поворинский А.Г. Пособие по клинической электроэнцефалографии / А.Г. Поворинский, В.А. Заболотных. М., 2000.
8. Топография изменений спектральной мощности ЭЭГ в ходе сеанса биологической обратной связи по бета-ритм / И.С. Никишени, В.А. Пономарев, В.А. Гринь-Яценко, Ю.Д. Кропотов // Физиол. чел. В печати.
9. Электрофизиологические корреляты нарушений внимания у подростков 12–13 лет / Е.А. Яковенко, Ю.Д. Кропотов, Л.С. Чутко и др. // Физиол. чел. 2003. Т. 29. № 6. С. 1–6.
10. Электрофизиологическое исследование детской гиперактивности / Н.Л. Горбачевская, Н.Н. Заваденко, Л.П. Якупова и др. // Физиол. чел. 1996. № 5. С. 49.
11. American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4 ed (DSM-IV). Washington, 1994.
12. Assessing the accuracy of topographic EEG mapping for determining local brain function / I.A. Cook, R. O'Hara, S. Uijtdehaage et al. // Electroencephalography and clinical Neurophysiology. 1999. Vol. 107. P. 408–414.
13. Barkley R.A. Attention-deficit hyperactivity disorder: a handbook for diagnosis and treatment / R.A. Barkley. N.-Y., 1990.
14. Bertrand O. Oscillatory gamma activity in humans: possible role for object representation / O. Bertrand, C. Tallon-Baudry // Int. J. Of Psychophysiology. 2000. Vol. 38. P. 211.
15. Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects / M. Tremblay, D. Lacroix, Y. Chaput et al. // Neuroreport. 1994. Dec. Vol. 20. № 5(18). P. 2449–2453.
16. Burgess A.P., Gruzelier J.H. Short duration power changes in the EEG during recognition memory for words and faces / A.P. Burgess, J.H. Gruzelier // Psychophysiology. 2000. Sep. Vol. 37. № 5. P. 596–606.
17. Chabot R.J. Quantitative electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder / R.J. Chabot, G. Serfontain // Biol Psychiatry. 1996. Vol. 40. № 10. P. 951.
18. Differences in Baseline EEG Measures for ADD and Normally Achieving Preadolescent Males / T. Janzen, K. Graap, S. Stephanson et al. // Biofeedback and Self-Regulation. 1995. Vol. 20. № 1. P. 65.
19. EEG coherence in attention-deficit/hyperactivity disorder: a comparative study of two DSM-IV types / R.J. Barry, A.R. Clarke, R. McCarthy, M. Selikowitz // Clin Neurophysiol. 2002. Apr. Vol. 113. № 4. P. 579–585.
20. Electroencephalogram differences in two subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder // A.R. Clarke, R.J. Barry, R. McCarthy, M. Selikowitz // Psychophysiology 2001. Vol. 38. № 2. P. 212.
21. Frequency analysis of the EEG during spatial selective attention / C.M. Gomez, M. Vazquez, E. Vaquero et al. // Int. J. Neurosci. 1998. Vol. 95. № 1–2. P. 17.
22. Gasser T. EEG power and coherence in children with educational problems / T. Gasser, V. Rousson, U. Schreier Gasser // J. Clin Neurophysiol. 2003. Jul-Aug. Vol. 20. № 4. P. 273–282.
23. Greenberg L.M. Developmental normative data on the Test of Variables of Attention (TOVA) / L.M. Greenberg, I.D. Waldman // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 1993. Vol. 34. P. 1019.
24. Ille N. Artifact correction of ongoing EEG using spatial filters based on artifact and brain signal topographies / N. Ille, P. Berg, M. Scherg // J. Clin. Neurophysiol. 2002. Vol. 19. № 2. P. 113–124.
25. Kaiser D. Efficacy of SMR-beta neurofeedback on attentional processes. 1997 / D. Kaiser, S. Othmer [Electronic resource] // <http://www.eegspectrum.com/tova97/530tova>
26. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // Brain Research Reviews. 1998. Vol. 29. № 2–3. P. 169–195.
27. Lemos M.S. The weighted average reference montage / M.S. Lemos, B.J. Fisch // EEG and Clin. Neurophysiol. 1991. Vol. 79. P. 361.
28. Lubar J.O. Electroencephalographic biofeedback of SMR and beta for treatment of attention deficit disorders in a clinical settings / J.O. Lubar, J.F. Lubar // Biofeedback and Self-Regulation. 1984. Vol. 9. P. 1.
29. Othmer S.F. Evaluation and remediation of attentional deficits / S.F. Othmer, S. Othmer 1992 [Electronic resource] // <http://www.eegspectrum.com/tova92/toca92.htm>
30. Pollen D.A. Some problems of occipital alpha block in man / D.A. Pollen, M.C. Trachtenberg // Brain Research. 1972. Vol. 41. № 2. P. 303.
31. Pritchard W.S. Electroencephalographic effects of cigarette smoking / W.S. Pritchard // Psychopharmacology (Berl). 1991. Vol. 104. № 4. P. 485–490.
32. Quantitative analysis of EEG in boys with attention-deficit-hyperactivity disorder: Controlled study with clinical implications / C.A. Mann, J.F. Lubar, A.W. Zimmerman et al. // Pediatric Neurology. 1992. Vol. 8. P. 30.
33. Quantitative EEG and Auditory Event-Related Potentials in the Evaluation of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Effects of Methylphenidate and Implications for Neurofeedback Training / J. F. Lubar, M.O. Swartwood, J.N. Swartwood, D.L. Timmermann // Journal of Psychoeducational Assessment, ADHD Special. 1995. P. 143–160.
34. Razoumnikova O.M. Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation / O.M. Razoumnikova // Brain Res Cogn Brain Res. 2000. Sep. Vol. 10. № 1–2. P. 11–18.
35. Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation / T. Jung, S. Makeig, C. Humphries et al. // Psychophysiol. 2000. Vol. 37. P. 163–178.
36. Rossiter Th.R. A Comparison of EEG Biofeedback and Psychostimulants in Treating Attention Deficit Hyperactivity Disorders / Th.R. Rossiter, Th.J. LaVaque // Journal of Neurotherapy. 1995. Summer. P. 48–59.
37. Suffin S.C. Neurometric subgroups in attentional and effective disorders and their association with pharmacotherapeutic

- tic outcome / S.C. Suffin, W.H. Emory // Clin Electroencephalogr. 1995. Vol. 26(2). P. 76.
38. *Tansey M.A.* Wechsler (WISC-R) changes following treatment of learning disabilities via EEG Biofeedback training in a private practice setting / M.A. Tansey // Australian Journal of Psychology. 1991. Vol. 43. P. 147–153.
39. *Thatcher R.W.* Cortico-cortical associations and EEG coherence: a two-compartmental model // R.W. Thatcher, P.J. Krause, M. Hrybyk // Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1986. Aug. Vol. 64. № 2. P. 123–143.
40. *Thatcher R.W.* Human cerebral hemispheres develop at different rates and ages / R.W. Thatcher, R.A. Walker, S. Giudice // Science. 1987. May. Vol. 29. № 236(4805). P. 1110–1113.
41. *Thatcher R.W.* Cyclic cortical reorganization during early childhood / R.W. Thatcher // Brain Cogn. 1992. Sep. Vol. 20. № 1. P. 24–50.
42. Thinking with images or thinking with language: a pilot EEG probability mapping study / H. Petsche, D. Lacroix, K. Lindner et al. // Int J Psychophysiol. 1992. Jan. Vol. 12. № 1. P. 31–39.
43. *Trommer B.L.* The go-nogotest in attention deficit disorder is sensitive to methylphenidate / B.L. Trommer, J.A. Hoepfner, S.G. Zecker // Journal of Child Neurology. 1991. Vol. 6. № 1. P. 128.
44. *Tucker D.M.* Functional connections among cortical regions: topography of EEG coherence. / D.M. Tucker, T.B. Roth Bair // Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1986. Mar. Vol. 63. № 3. P. 242–250.