

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ БЕТА- И ТЕТА-ДИАПАЗОНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЭГ-БИОУПРАВЛЕНИЯ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ТРУДНОСТЯМИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ

Ю.С. Джос* ORCID: [0000-0003-1635-5140](https://orcid.org/0000-0003-1635-5140)

И.А. Меньшикова** ORCID: [0000-0002-6323-8329](https://orcid.org/0000-0002-6323-8329)

*Педиатрический центр «Оккервиль»

(Ленинградская обл., Всеволожский р-н, г. Кудрово)

**Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(г. Архангельск)

Представлены результаты исследований спектральных характеристик электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у детей 7–10 лет (8 девочек и 22 мальчика) с трудностями произвольной регуляции деятельности, после 10 и 20 сеансов нейробиоуправления с использованием бета-активирующего тренинга. Биоэлектрическую активность мозга регистрировали с помощью комплекса «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» в 16 стандартных отведениях. Динамику оценивали по бета- и тета-диапазонам ЭЭГ в ходе проведения нейробиоуправления. Установлено увеличение полной мощности колебаний бета-диапазона как после 10, так и после 20 сеансов ЭЭГ-биоуправления в лобных ($p \leq 0,001$), левой теменной ($p \leq 0,036$) и височных ($p \leq 0,003$) областях головного мозга. Уменьшение спектральных характеристик колебаний в тета-диапазоне выявлено: после 10 сеансов нейробиоуправления – в лобных ($p \leq 0,008$) и височных ($p \leq 0,006$) областях обоих полушарий, а также в теменной области левого полушария ($p \leq 0,005$); после 20 сеансов – в центральных ($p \leq 0,004$), лобных ($p \leq 0,001$), височных ($p \leq 0,001$) областях обоих полушарий, а также затылочной ($p \leq 0,047$) и теменной ($p \leq 0,001$) областях левого полушария головного мозга. Изучение динамики биоэлектрической активности в ходе биоуправления по параметрам ЭЭГ у детей 7–10 лет с дефицитом произвольной регуляции высших психических функций позволило доказать целесообразность проведения 20 сеансов, т. к. увеличение высокочастотной и снижение низкочастотной активности продолжают и после 10-го сеанса. Изменения данных параметров после 10 сеансов ЭЭГ-биоуправления выражены преимущественно в лобно-височных областях обоих полушарий, а после курса 20 сеансов – как в лобно-височных, так и в центрально-теменных отделах мозга.

Ключевые слова: дети младшего школьного возраста, нейробиоуправление, электроэнцефалограмма, спектральный анализ, нарушения произвольной регуляции.

Ответственный за переписку: Меньшикова Ирина Александровна, адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: Irinamen2014@yandex.ru

Для цитирования: Джос Ю.С., Меньшикова И.А. Изменение полной мощности бета- и тета-диапазонов при использовании ЭЭГ-биоуправления у младших школьников с трудностями произвольной регуляции // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 4. С. 331–340. DOI: 10.37482/2687-1491-Z025

Период младшего школьного возраста связывают с повышенными требованиями к уровню формирования управляющих функций. Одним из главных факторов для адаптации детей к тем условиям, которые предъявляет социум, являются процессы программирования, регуляции и контроля деятельности. Успешное формирование таких функций зависит от благополучного развития обеспечивающих их мозговых механизмов [1]. Реализация произвольных форм деятельности связана с участием основных систем регуляции мозга. В эти системы входят подкорковые и стволовые структуры, а также ассоциативные зоны коры мозга. Одна из систем, включающая ретикулярную формацию ствола и ее связь с корой мозга, участвует в регуляции уровня специфической активации. В другую систему входят отделы лобной доли и ее медиобазальные связи, а также структуры лимбической системы; деятельность ее связана с мотивационной стороной поведенческого акта. Последней является фронтоталамическая регуляторная система, оказывающая избирательное модулирующее действие на разные зоны коры [2].

Исследование Р.И. Мачинской и Е.В. Крупской доказало, что на развитие познавательных функций у школьников младших классов отрицательно влияют незрелость фронтоталамической системы (ФТС) и дефицит стволовой активации (ДСА). Для детей, имеющих незрелость ФТС, характерен дефицит информационных и мотивационных компонентов внимания. У этой же группы детей выявлена дефицитарность компонентов произвольных форм регуляции деятельности: трудности переключения и усвоения программ деятельности, нарушение создания стратегий и контроля за деятельностью, импульсивность. В свою очередь, у детей с ДСА дефицитарным является активационный компонент внимания [3].

Анализируя электроэнцефалограмму (ЭЭГ) детей с незрелостью ФТС, Р.И. Мачинская и Е.В. Крупская выявили снижение уровня функционального взаимодействия в левом полушарии мозга между ассоциативными и височными зонами. На ЭЭГ детей, имеющих дефицитарность активации ствола мозга, этими же авторами установлено ослабление функци-

онального взаимодействия в правом полушарии между задними ассоциативными зонами, а также общее снижение степени возбудимости корковых зон головного мозга [3]. Имеются исследования, в которых у детей с трудностями волевого контроля и произвольной регуляции деятельности отмечены повышения медленно-волновых ритмов ЭЭГ [3, 4].

Изменения в функционировании произвольной регуляции возникают в критические возрастные периоды. В старшем дошкольном и младшем школьном возрасте происходят особенно значимые изменения в развитии управляющих функций. В этот период отмечается наибольший рост ассоциативных слоев коры, нарастают объем нейронов и компактность нейрорупировок; в свою очередь, активно формируются базальные дендритные комплексы лобной доли в разных полях коры. В анализе механизма нарушений, решении задач диагностики и коррекции существенно изучение механизмов произвольной регуляции высших психических функций. Известно, что в данный период активно формируются связи между фронтальной корой мозга и его глубинными структурами. Созревание систем мозга влечет за собой изменение в структуре его деятельности [5]. Трудности волевого контроля и произвольной регуляции деятельности приводят к появлению вторичных симптомов – школьных трудностей. Родители и педагоги отмечают у таких детей страх школы, частые конфликты с учителями и сверстниками, а также снижение учебной мотивации и равнодушие к результатам учебы. Такие дети испытывают серьезные трудности в усвоении образовательных программ вследствие различных биологических и социальных причин. В свою очередь, школьные трудности, которые не были вовремя выявлены и скомпенсированы, приводят к неуспеваемости [6, 7].

В настоящее время имеются работы, посвященные применению ЭЭГ-биоуправления у детей с такими психофизиологическими заболеваниями, как аутизм, синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ), синдром Дауна [8–10]. Зарубежные ученые L. Thompson, M. Thompson и A. Reid, изучая проблемы аутизма и проводя таким детям от 40 до 60 сеансов био-

логической обратной связи (БОС) по параметрам ЭЭГ, добились у них значимого улучшения функций внимания, счета, чтения и правописания [11]. В свою очередь, R. Coben, занимавшийся вопросами снижения общих симптомов аутизма, после окончания курса нейробиоуправления отмечал уменьшение дефицита социального взаимодействия, улучшение коммуникации в социальной сфере у 42 % детей. J.E. Walker после применения метода нейробиоуправления у детей с дислексией достиг значительных результатов по улучшению их способности к чтению. Ученые T. Surmeli и A. Ertem, разрабатывая протоколы лечения синдрома Дауна у детей, поставили задачу улучшения свойств внимания в ходе проведения тренингов нейробиоуправления. По окончании тренингов у всех детей было отмечено не только повышение концентрации внимания, но и снижение импульсивности, а также улучшение поведения, увеличение активного словарного запаса, подтвержденные положительными изменениями на ЭЭГ. Позднее этой же группой ученых были выявлены улучшения функции внимания и поведения у детей с легкой или умеренной степенью умственной отсталости при проведении от 80 до 160 сеансов нейробиоуправления [10].

Наиболее полно изученной областью применения биоуправления по параметрам ЭЭГ является бета-стимулирующий тренинг. Его эффективно используют в лечении СДВГ [10, 12, 13]. В 1976 году J.F. Lubar, M.N. Shouse впервые успешно применили нейробиоуправление для лечения данного синдрома [10]. На ЭЭГ детей, страдающих СДВГ, до проведения сеансов нейробиоуправления отмечалось увеличение спектральной мощности альфа- и тета-колебаний и уменьшение представленности бета-активности в полосе 12–21 Гц в лобных отделах коры головного мозга. В ходе сеансов нейробиоуправления при СДВГ, по мнению R. Drechsler, происходит повышение колебаний бета-диапазона и уменьшение тета-активности [10]. Отечественные ученые В.А. Гринь-Яценко, Ю.Д. Кропотов, В.А. Пономарев, Л.С. Чутко, Е.А. Яковенко также занимались изучением вопросов коррекции нарушения внимания у детей с СДВГ, используя бета-тета-тренинг, что приводило к улучшению внимания и школьной успеваемости [7].

Ряд ученых, рассматривающих механизмы изменения ЭЭГ при проведении нейробиоуправления, пришли к выводу, что сеансы ЭЭГ-БОС оказывают воздействие на фундаментальные ритмические механизмы. Это происходит благодаря изменению нейромодуляторного влияния ствола мозга, формированию новых нейронных ансамблей, а также повышению пластичности нейронных сетей. Нейробиоуправление нормализует механизмы активации, изменяя степень ЭЭГ-активности коры головного мозга, благодаря этому улучшается кортикальная стабильность, а за счет научения управлению центральными механизмами регуляции сеансы ЭЭГ-биоуправления приводят к стабильному функционированию нервной системы в целом [14].

Несмотря на большой объем литературных данных об адаптивном биоуправлении, не представлено сведений о возможности использования данного метода у детей с нарушением произвольной регуляции деятельности. Целью нашей работы стало выявление динамики высокочастотной и низкочастотной активности по спектральным параметрам ЭЭГ у младших школьников с трудностями произвольной регуляции деятельности во время проведения сеансов нейробиоуправления по бета-тета-тренингу.

Материалы и методы. Обследовано 30 детей в возрасте от 7 до 10 лет (22 мальчика и 8 девочек), которые родились и постоянно проживают в г. Архангельске. Критериями исключения являлись наличие в анамнезе органической патологии центральной нервной системы, хронических соматических заболеваний, инвалидности, леворукость. Обследование проведено в первой половине дня, с письменного информированного добровольного согласия родителей, у первоклассников – после завершения периода адаптации к школе. Уровень физического развития у всех детей соответствовал среднему гармоничному.

Произвольная регуляция деятельности анализировалась по методике оценки сформированности функций программирования, регуляции и контроля деятельности (М.М. Безруких). Использовались пробы на исследование динамического праксиса, конфликтный вариант реакции выбора, оценку ритмов и выполнение

ритмических структур по образцу и речевой инструкции, запоминание 2 групп по 3 слова, копирование сложной фигуры Тейлора, рассказ по серии сюжетных картинок, тактильное узнавание геометрических фигур, пересказ рассказа «Галка и голуби» или «Лев и мышь». Каждый из 37 изучаемых показателей оценивался в баллах: 0 баллов ребенок получал при отсутствии ошибок и точном выполнении задания; 1 балл – при наличии единичных ошибок; 2 балла – при наличии грубых ошибок. Данная методика позволяет сгруппировать изучаемые параметры и выделить следующие компоненты: опережающее поведение и импульсивность, инертность элемента программы, инертность программы, трудности усвоения и дальнейшего следования программе, снижение устойчивости программы, трудности создания стратегии деятельности и трудности контроля. В зависимости от количества набранных баллов в целом и по каждому компоненту среди детей, не имеющих эмоциональных нарушений и расстройств поведения, были вычислены среднее значение (M) и стандартное отклонение (δ) отдельно для каждой возрастной группы, значение $M \pm \delta$ принималось за норму. Отклонение от среднего значения более чем на 1δ в худшую сторону расценивалось как нарушение управляющих функций с указанием дефицита конкретного компонента.

Функционирование подкорковых структур, регулирующих активность коры головного мозга, оценивалось с точки зрения нейродинамики протекания психических процессов. Характер межполушарных взаимодействий исследовался с помощью пробы на реципрокную координацию. Моторные и сенсорные асимметрии определялись при выполнении школьниками бытовых и графических действий.

При регистрации, обработке и анализе биоэлектрической активности головного мозга в процессе проведения сеансов нейробиопроуправления использовался многофункциональный компьютерный комплекс «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Активные электроды располагались в соответствии с международной схемой «10-20», монополярно в 16 стандартных отведениях: центральных

(C3, C4), лобных (FP1, FP2, F3, F4, F7, F8), височных (T3, T4, T5, T6), затылочных (O1, O2), теменных – (P3, P4). Референтные электроды были расположены на мочках ушей. Оценка биоэлектрической активности головного мозга проводилась в состоянии спокойного бодрствования в комфортной обстановке и с закрытыми глазами в течение 3 мин, после периода адаптации. Частота дискретизации ЭЭГ-сигнала – 1000 Гц. При оценке ЭЭГ у каждого испытуемого в записи находились отрезки без артефактов общей продолжительностью от 30 с до 1 сеанса, после 10 и 20 сеансов нейробиопроуправления. Анализ ЭЭГ был проведен на основе преобразования Фурье. Эпоха анализа – 5 с. Полученные данные явились результатом усреднения по 6 эпохам. Спектр был проанализирован по дельта- (1–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц) и бета-частотам (13–21 Гц). В каждом диапазоне частот оценивалась полная мощность ритмов (мкВ^2).

Сеансы нейробиопроуправления проводились с помощью 3-й версии программного обеспечения Нейрон-Спектр.NET (20 сеансов, по 5 раз в неделю). В один сеанс нейробиопроуправления входило два 5-минутных бета-тета-тренинга с перерывом 5 мин между ними. Управляемым параметром являлась полная спектральная мощность ЭЭГ в бета-диапазоне. Для контроля эффективности обратной связи использовались визуальный и акустический сигналы. Далее детям давались рекомендации для успешного прохождения тренинга. Ребенку необходимо было расслабиться, неподвижно сидеть и сохранять ровный эмоциональный фон. Перед участниками исследования ставилась задача увеличивать высокочастотную активность ЭЭГ и подавлять низкочастотную. Затем приступали к первому 5-минутному тренингу под названием «Золотая рыбка». При данном виде обратной связи пациенту предоставлялась возможность перемещать по экрану золотую рыбку, соревнуясь в скорости со своим предыдущим результатом обучения. Скорость движения рыбки была пропорциональна успешности обучения. После перерыва проводился второй 5-минутный тренинг-просмотр видеофильма. При данном виде обратной связи на экране

пациента воспроизводился выбранный видеofilm. От успешности выполнения условий обучения зависела четкость изображения и громкость звука фильма.

Результаты исследования анализировались при помощи статистического пакета программ SPSS 21.0 для Windows. Производилась оценка распределения на нормальность признаков с применением критерия Шапиро–Уилка. Для описательной статистики признаков использовались медиана (*Me*) и интервал значений от первого (*Q1*) до третьего (*Q3*) квартиля. Применялись непараметрические методы: тест Фридмана при сравнении зависимых выборок,

критерий Вилкоксона при сравнении парных значений. За критический уровень статистической значимости принимался $p \leq 0,05$.

Результаты. Оценка спектральных характеристик ЭЭГ в процессе проведения сеансов нейробиоуправления у детей младшего школьного возраста с трудностями произвольной регуляции деятельности выявила увеличение полной спектральной мощности бета-диапазона и уменьшение данного параметра в тета-диапазоне после 10 и 20 сеансов ЭЭГ-БОС. Так, после 10-го сеанса нейробиоуправления происходило повышение полной мощности в диапазоне частот бета-ритма (*табл. 1*) в лоб-

Таблица 1

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ БЕТА-ДИАПАЗОНА
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ
У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ($n = 30$)
С НАРУШЕНИЕМ ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, *Me* ($Q1-Q3$)**

**CHANGES IN BETA-BAND TOTAL POWER
AT NEUROFEEDBACK SESSIONS IN PRIMARY SCHOOL-AGE CHILDREN ($n = 30$)
WITH IMPAIRED VOLUNTARY REGULATION OF ACTIVITY, *Me* ($Q1-Q3$)**

Отведение	Полная мощность бета-диапазона, мкВ ²			p_1	p_2
	до 1-го сеанса	после 10-го сеанса	после 20-го сеанса		
FP1	11,48 (9,42–13,65)	13,92 (10,69–17,94)	15,18 (12,78–18,33)	0,001	0,001
FP2	11,20 (8,64–13,38)	12,28 (9,33–17,03)	14,31 (10,46–18,51)	0,001	0,001
F3	15,55 (12,30–17,44)	17,80 (15,16–19,06)	18,81 (15,27–21,56)	0,001	0,001
F4	14,52 (11,55–17,69)	16,27 (12,89–20,64)	17,48 (13,90–21,08)	0,001	0,001
C3	15,25 (12,42–18,09)	14,32 (11,80–18,87)	14,36 (11,83–22,07)	0,719	0,188
C4	12,84 (9,92–14,50)	12,38 (7,72–14,58)	12,57 (10,29–16,51)	0,658	0,052
P3	17,13 (12,43–18,99)	17,97 (15,33–19,95)	22,02 (13,16–31,68)	0,036	0,005
P4	16,38 (11,93–18,56)	14,34 (9,37–19,93)	13,65 (10,34–18,18)	0,636	0,530
O1	17,90 (12,74–22,27)	17,80 (13,09–24,77)	22,68 (14,35–27,63)	0,530	0,229
O2	21,95 (17,16–28,85)	23,35 (14,27–30,07)	22,69 (18,63–32,59)	0,926	0,165
F7	9,25 (8,27–11,25)	9,42 (7,78–13,68)	11,39 (8,89–16,02)	0,719	0,001
F8	7,91 (6,55–9,55)	8,58 (7,45–11,73)	9,34 (7,15–12,30)	0,001	0,013
T3	9,16 (7,66–11,23)	11,17 (9,26–13,64)	12,59 (10,17–16,11)	0,003	0,001
T4	8,21 (6,30–10,05)	10,21 (7,40–11,65)	10,73 (8,84–12,68)	0,003	0,001
T5	8,00 (6,92–10,87)	11,68 (7,55–12,72)	13,36 (10,34–15,81)	0,001	0,001
T6	7,78 (6,65–9,47)	10,06 (8,23–12,08)	10,89 (9,72–13,49)	0,001	0,001

Примечание. Статистическая значимость различий показателей: p_1 – до 1-го и после 10-го сеанса; p_2 – до 1-го и после 20-го сеанса.

ных (FP1, FP2, F3, F4, F8), левой теменной (P3) и височных (T3, T4, T5, T6) областях. После 20-го сеанса увеличение полной мощности бета-диапазона продолжалось как в лобных (FP1, FP2, F3, F4, F7, F8), височных (T3, T4, T5, T6) областях головного мозга, так и в теменной (P3) области левого полушария.

Анализ динамики полной мощности колебаний тета-диапазона у обследованных детей (табл. 2) показал ее снижение в лобных (FP1, FP2, F3, F4, F7, F8), височных (T3, T4, T5, T6) и левой теменной (P3) областях мозга после 10-го сеанса ЭЭГ-биоуправления. После 20-го сеанса уменьшение полной мощности тета-диапазона продолжалось в указанных областях,

при этом статистически значимые различия выявлены в центральных (C3, C4), лобных (FP1, FP2, F3, F4, F7, F8), височных (T3, T4, T5, T6) областях, затылочной (O1) и теменной (P3) областях левого полушария.

Таким образом, в ходе проведения сеансов нейробиоуправления у детей выявлена положительная динамика биоэлектрической активности головного мозга, которая проявляется в увеличении полной мощности бета-диапазона и уменьшении полной мощности тета-диапазона. Изменения данных параметров после 10 сеансов ЭЭГ-биоуправления выражены преимущественно в лобно-височных областях обоих полушарий, а после 20 сеансов – как в

Таблица 2

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ТЕТА-ДИАПАЗОНА
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ
У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ($n = 30$)
С НАРУШЕНИЕМ ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, $Me (Q1-Q3)$**
**CHANGES IN THETA-BAND TOTAL POWER
AT NEUROFEEDBACK SESSIONS IN PRIMARY SCHOOL-AGE CHILDREN ($n = 30$)
WITH IMPAIRED VOLUNTARY REGULATION OF ACTIVITY, $Me (Q1-Q3)$**

Отведение	Полная мощность тета-диапазона, мкВ ²			P_1	P_2
	до 1-го сеанса	после 10-го сеанса	после 20-го сеанса		
FP1	84,65 (63,16–111,61)	79,17 (57,75–99,08)	67,69 (49,18–80,18)	0,003	0,001
FP2	91,37 (59,54–108,77)	67,13 (54,24–100,33)	59,09 (45,80–92,05)	0,004	0,001
F3	90,65 (75,39–134,09)	90,36 (75,42–113,32)	80,46 (62,49–93,39)	0,008	0,001
F4	98,55 (74,31–113,90)	77,13 (62,48–102,16)	72,57 (58,85–90,62)	0,001	0,001
C3	105,97 (68,84–144,90)	88,80 (71,53–107,53)	85,92 (66,32–101,48)	0,082	0,004
C4	90,53 (74,27–113,05)	82,45 (67,82–102,44)	78,21 (59,58–89,30)	0,199	0,001
P3	109,68 (83,17–153,36)	95,64 (71,68–100,81)	85,16 (68,39–98,00)	0,005	0,001
P4	93,80 (64,41–112,85)	92,71 (60,27–116,40)	84,12 (62,67–112,17)	0,829	0,147
O1	108,74 (76,47–141,80)	97,25 (67,21–124,13)	93,72 (56,59–117,21)	0,102	0,047
O2	104,09 (79,49–149,73)	97,52 (73,97–142,02)	97,86 (72,79–138,11)	0,853	0,086
F7	69,53 (52,11–108,64)	61,01 (44,37–89,77)	53,85 (46,13–78,42)	0,001	0,001
F8	79,31 (52,17–88,38)	55,63 (43,93–81,50)	54,79 (39,94–78,88)	0,001	0,001
T3	62,63 (45,80–94,03)	59,25 (41,51–80,68)	57,52 (40,54–74,64)	0,006	0,001
T4	66,32 (46,51–83,39)	57,58 (39,69–79,67)	56,92 (33,73–72,62)	0,001	0,001
T5	65,11 (49,08–87,83)	59,05 (44,04–78,88)	54,63 (39,22–74,57)	0,002	0,001
T6	56,53 (46,49–85,51)	54,58 (38,66–80,54)	53,59 (37,16–75,43)	0,006	0,001

Примечание. Статистическая значимость различий показателей: p_1 – до 1-го и после 10-го сеанса; p_2 – до 1-го и после 20-го сеанса.

лобно-височных, так и в центрально-теменных отделах мозга.

Обсуждение. Увеличение полной мощности бета-диапазона свидетельствует о повышении метаболической активности в соответствующих корковых областях мозга [15]. Лобные бета-ритмы появляются при решении когнитивных задач, связанных с оценкой стимула и принятием решения. Повышение их полной мощности у младших школьников после 10 сеансов ЭЭГ-биоуправления говорит об активации лобных долей мозга.

Усиление полной мощности бета-диапазона в центрально-теменных областях у детей после 20-го сеанса ЭЭГ-БОС может отражать процесс синхронизации фронтальной и роландической бета-активности. Это свидетельствует о формировании тормозных связей для остановки сильного внешнего возбуждения. Теоретически и экспериментально доказано, что сети тормозных промежуточных нейронов вовлечены в генерацию бета-ритма. Такое торможение происходит циклично и необходимо для обработки поступающей информации.

Повышение полной мощности бета-ритма в лобных отделах связано с улучшением их влияния на расположенные ниже таламические и стволовые отделы мозга, которые, в свою очередь, улучшают регуляцию процессов активации коры, необходимых для осуществления высших психических функций (ВПФ), и свидетельствует об оптимизации основных свойств внимания: концентрации, распределения, переключения.

Увеличение полной мощности бета-ритма и ее снижение в диапазоне тета-ритма в височных отделах обоих полушарий и теменном отделе правого полушария головного мозга младших школьников связаны с изменением

корковых и корково-подкорковых связей, что свидетельствует о расширении объема запоминания слухоречевой информации и улучшении фонематического анализа.

Уменьшение спектра мощности тета-колебаний и увеличение представленности бета-активности в полосе 12–21 Гц в лобных, височных отделах, а также теменной области левого полушария головного мозга в ходе сеансов нейробиоуправления можно связать с изменением нейромодуляторного влияния ствола мозга, улучшением пластичности нейронных сетей, а также формированием новых нейронных ансамблей.

Анализ биоэлектрической активности мозга в ходе ЭЭГ-биоуправления у детей 7–10 лет с трудностями произвольной регуляции деятельности позволил доказать целесообразность проведения 20 сеансов ЭЭГ-БОС. Уменьшение полной мощности тета-диапазона, увеличение полной мощности бета-диапазона продолжается и после 20-го сеанса, что отражает процессы морфофункционального созревания ЦНС. Это происходит за счет улучшения регуляции процессов активации коры, формирования процессов возбуждения и торможения в нейронных сетях, улучшения пластичности и образования новых нейронных ансамблей, а также связано с изменением корковых и корково-подкорковых связей, необходимых для осуществления ВПФ.

Таким образом, исследование подтвердило, что ЭЭГ-биоуправление является одним из наиболее эффективных неинвазивных способов коррекции трудностей произвольной регуляции деятельности у детей младшего школьного возраста.

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Семенова О.А., Мачинская Р.И., Ломакин Д.И. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля когнитивной деятельности у детей. Сообщение I. Нейропсихологический и электроэнцефалографический анализ возрастных преобразований регуляторных функций мозга в период от 9 до 12 лет // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 4. С. 5–17. DOI: 10.7868/S0131164615040128

2. Панков М.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С., Старцева Л.Ф., Нехорошкова А.Н. Клинико-физиологические проявления синдрома дефицита внимания с гиперактивностью у детей (обзор литературы) // Вестн. новых мед. технологий. 2013. Т. 20, № 3. С. 91–97.
3. Мачинская Р.И., Крупская Е.В. Междисциплинарный подход к исследованию и дифференциации вариантов СДВГ у детей младшего школьного возраста // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Физиол. и психол.-пед. науки. 2007. № 4. С. 8–15.
4. Очерки психофизиологии детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью / отв. ред. А.В. Грибанов. Архангельск: Помор. ун-т, 2009. 242 с.
5. Сойко К.В. Особенности развития функций программирования, регуляции и контроля младших школьников с трудностями обучения // Науч. стремления. 2016. Вып. 19. С. 84–88.
6. Джафарова О.А., Даниленко Е.Н. Нейробиоуправление в коррекции синдрома дефицита внимания и гиперактивности школьников // Открытое образование. 2016. № 2. С. 93–96. DOI: 10.21686/1818-4243-2016-2-93-96
7. Гринь-Яценко В.А., Кропотов Ю.Д., Пономарев В.А., Чутко Л.С., Яковенко Е.А. Использование метода биологической обратной связи по электроэнцефалограмме в коррекции нарушений внимания у детей // Биоуправление-4: Теория и практика: коллект. моногр. / под ред. М.Б. Штарка, М. Шварца. Новосибирск: Цэрис, 2002. С. 108–116.
8. Даниленко Е.Н., Джафарова О.А. Коррекция синдрома дефицита внимания и гиперактивности у младших школьников // Актуальные проблемы психологии и педагогики: диагностика, превенция, коррекция: материалы науч.-практ. заоч. конф. с междунар. участием (г. Новосибирск, 16 декабря 2015 г.): в 2 ч. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2016. С. 73–76.
9. Schmitt G. Veränderungen des QEEG bei Kindern mit einer ADHS nach Neurofeedback-Training der langsamen kortikalen Potentiale. Dissertation der Eberhard Karls Universität zu Tübingen. Erlangen, 2014. 75 p.
10. Джос Ю.С., Меньшикова И.А. Возможности применения нейробиоуправления для повышения функциональных способностей головного мозга (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 3. С. 338–348. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.338
11. Thompson L., Thompson M., Reid A. Neurofeedback Outcomes in Clients with Asperger's Syndrome // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2010. Vol. 35, № 1. P. 63–81.
12. Штарк М.Б., Скок А.Б. Применение электроэнцефалографического биоуправления в клинической практике (литературный обзор) // Биоуправление-3: Теория и практика: коллект. моногр. / отв. ред. М.Б. Штарк, Р. Колл. Новосибирск: Цэрис, 1998. С. 131–139.
13. Drechsler R. Ist Neurofeedbacktraining eine wirksame Therapiemethode zur Behandlung von ADHS? Ein Überblick über aktuelle Befunde // Z. Neuropsychol. 2011. Vol. 22, № 2. P. 131–146.
14. Фокина Ю.О., Павленко В.Б., Куличенко А.М. Возможные механизмы действия биологической обратной связи по электроэнцефалограмме // Уч. зап. Тавр. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: Биология, химия. 2008. Т. 21(60), № 1. С. 107–116.
15. Kahana M.J., Seelig D., Madsen J.R. Theta Returns // Curr. Opin. Neurobiol. 2001. Т. 11, № 6. P. 739–744.

References

1. Semenova O.A., Machinskaya R.I., Lomakin D.I. The Influence of the Functional State of Brain Regulatory Systems on the Programming, Selective Regulation and Control of Cognitive Activity in Children: I. Neuropsychological and EEG Analysis of Age-Related Changes in Brain Regulatory Functions in Children Aged 9–12 Years. *Hum. Physiol.*, 2015, vol. 41, no. 4, pp. 345–355. DOI: 10.1134/S036211971504012X
2. Pankov M.N., Gribanov A.V., Deputat I.S., Startseva L.F., Nekhoroshkova A.N. Kliniko-fiziologicheskie proyavleniya sindroma defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu u detey (obzor literatury) [Clinical and Physiological Characteristics of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Children (Review)]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2013, vol. 20, no. 3, pp. 91–97.

3. Machinskaya R.I., Krupskaya E.V. Mezhdistsiplinarnyy podkhod k issledovaniyu i differentsiatsii variantov SDVG u detey mladshogo shkol'nogo vozrasta [Interdisciplinary Approach to the Study and Differentiation of ADHD Variants in Primary School Children]. *Vestnik Pomorskogo universiteta*, 2007, no. 4, pp. 8–15.

4. Gribanov A.V. (ed.). *Ocherki psikhofiziologii detey s sindromom defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu* [Essays on Psychophysiology of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder]. Arkhangelsk, 2009. 242 p.

5. Soyko K.V. Osobennosti razvitiya funktsiy programmirovaniya, regulyatsii i kontrolya mladshikh shkol'nikov s trudnostyami obucheniya [Features of Development of Programming, Regulation and Control Functions in Primary Schoolchildren]. *Nauchnye stremleniya*, 2016, no. 19, pp. 84–88.

6. Dzhafarova O.A., Danilenko E.N. Neyrobioupravlenie v korrektsii sindroma defitsita vnimaniya i giperaktivnosti shkol'nikov [Neurobiofeedback in the Correction of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Schoolchildren]. *Otkrytoe obrazovanie*, 2016, no. 2, pp. 93–96. DOI: 10.21686/1818-4243-2016-2-93-96

7. Grin'-Yatsenko V.A., Kropotov Yu.D., Ponomarev V.A., Chutko L.S., Yakovenko E.A. Ispol'zovanie metoda biologicheskoy obratnoy svyazi po elektroentsefalogramme v korrektsii narusheniy vnimaniya u detey [The Use of Neurofeedback in Correcting Attention Deficit in Children]. Shtark M.B., Shvarts M. (eds.). *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2002, pp. 108–116.

8. Danilenko E.N., Dzhafarova O.A. Korrektsiya sindroma defitsita vnimaniya i giperaktivnosti u mladshikh shkol'nikov [Correction of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Primary Schoolchildren]. *Aktual'nye problemy psikhologii i pedagogiki: diagnostika, preventsiya, korrektsiya* [Current Issues of Psychology and Pedagogy: Diagnosis, Prevention, Correction]. Pt. 1. Novosibirsk, 2016, pp. 73–76.

9. Schmitt G. *Veränderungen des QEEG bei Kindern mit einer ADHS nach Neurofeedback-Training der langsamen kortikalen Potentiale*. Dissertation der Eberhard Karls Universität zu Tübingen. Erlangen, 2014. 75 p.

10. Dzhos Yu.S., Men'shikova I.A. Possible Use of Neurofeedback to Increase the Functional Capacity of the Brain (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 338–348. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.338

11. Thompson L., Thompson M., Reid A. Neurofeedback Outcomes in Clients with Asperger's Syndrome. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 2010, vol. 35, no. 1, pp. 63–81.

12. Shtark M.B., Skok A.B. Primenenie elektroentsefalograficheskogo bioupravleniya v klinicheskoy praktike (literaturnyy obzor) [The Use of Neurofeedback in Clinical Practice (Literature Review)]. Shtark M.B., Koll R. (eds.). *Bioupravlenie-3: Teoriya i praktika* [Biofeedback-3: Theory and Practice]. Novosibirsk, 1998, pp. 131–139.

13. Drechsler R. Ist Neurofeedbacktraining eine wirksame Therapiemethode zur Behandlung von ADHS? Ein Überblick über aktuelle Befunde. *Z. Neuropsychol.*, 2011, vol. 22, no. 2, pp. 131–146.

14. Fokina Yu.O., Pavlenko V.B., Kulichenko A.M. Vozmozhnye mekhanizmy deystviya biologicheskoy obratnoy svyazi po elektroentsefalogramme [The Possible Mechanisms of Neurofeedback Action]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser.: Biologiya, khimiya*, 2008, vol. 21, no. 1, pp. 107–116.

15. Kahana M.J., Seelig D., Madsen J.R. Theta Returns. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 2001, vol. 11, no. 6, pp. 739–744.

DOI: 10.37482/2687-1491-Z025

Yuliya S. Dzhos* ORCID: [0000-0003-1635-5140](https://orcid.org/0000-0003-1635-5140)
Irina A. Men'shikova** ORCID: [0000-0002-6323-8329](https://orcid.org/0000-0002-6323-8329)

*Okkervil Paediatric Centre
(Leningrad Region, Russian Federation)

**Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

**CHANGES IN THE TOTAL POWER OF BETA AND THETA BANDS
WHEN USING EEG BIOFEEDBACK IN PRIMARY SCHOOL-AGE CHILDREN
HAVING DIFFICULTIES WITH VOLUNTARY REGULATION**

This article presents the results of the study on spectral electroencephalogram (EEG) characteristics in 7–10-year-old children (8 girls and 22 boys) having difficulties with voluntary regulation of activity after 10 and 20 neurofeedback sessions using beta-activating training. Brain bioelectric activity was recorded in 16 standard leads using the Neuron-Spectrum-4/VPM complex. The dynamics was assessed by EEG beta and theta bands during neurofeedback. An increase in the total power of beta band oscillations was established both after 10 and after 20 sessions of EEG biofeedback in the frontal ($p \leq 0.001$), left parietal ($p \leq 0.036$), and temporal ($p \leq 0.003$) areas of the brain. A decrease in the spectral characteristics of theta band oscillations was detected: after 10 neurofeedback sessions in the frontal ($p \leq 0.008$) and temporal ($p \leq 0.006$) areas of both hemispheres, as well as in the parietal area of the left hemisphere ($p \leq 0.005$); after 20 sessions, in the central ($p \leq 0.004$), frontal ($p \leq 0.001$) and temporal ($p \leq 0.001$) areas of both hemispheres, as well as in the occipital ($p \leq 0.047$) and parietal ($p \leq 0.001$) areas of the left hemisphere. The study into the dynamics of bioelectric activity during biofeedback using EEG parameters in 7–10-year-old children with impaired voluntary regulation of higher mental functions allowed us to prove the advisability of 20 sessions, as the increase in high-frequency activity and decrease in low-frequency activity do not stop with the 10th session. Changes in these parameters after 10 EEG biofeedback sessions are expressed mainly in the frontotemporal areas of both hemispheres, while after a course of 20 sessions, in both the frontotemporal and central parietal areas of the brain.

Keywords: *primary school-age children, neurofeedback, electroencephalogram, spectral analysis, impaired voluntary regulation.*

Поступила 28.02.2020

Принята 05.06.2020

Received 28 February 2020

Accepted 5 June 2020

Corresponding author: Irina Men'shikova, *address:* nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; *e-mail:* Irinamen2014@yandex.ru

For citation: Dzhos Yu.S., Men'shikova I.A. Changes in the Total Power of Beta and Theta Bands When Using EEG Biofeedback in Primary School-Age Children Having Difficulties with Voluntary Regulation. *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 331–340. DOI: 10.37482/2687-1491-Z025