

## **Влияние ЭЭГ-биоуправления по СМР и Бета- ритму на Процессы Внимания**

**Дэвид А. Кайзер и Зигфрид Отмер  
EEG Spectrum, Inc. Encino, CA  
Ноябрь 1997**

### **Резюме**

Влияние ЭЭГ-биоуправления по сенсомоторному ритму (СМР) и бета-ритму на процессы внимания было исследовано с помощью Tests of Variables of Attention (TOVA) у 530 детей и взрослых с проблемами внимания. Обучение ЭЭГ-биоуправлению привело к значительному повышению критериев по шкалам невнимательности, импульсивности и дисперсии времени ответа. Наиболее выраженное улучшение обнаружено у субъектов с серьезными нарушениями, выявлявшимися до тренинга. Три четверти всех испытуемых продемонстрировали значительное клиническое улучшение (повышение 1/2 стандартного отклонения по одному или более критериев). Обсуждены три модели, имеющие прямое или косвенное отношение к эффективности ЭЭГ-биоуправления.

### **Введение**

В последние годы метод ЭЭГ-биоуправления используется в лечении ряда психологических, неврологических и психосоматических состояний (Fleischman, 1997; James & Folen, 1996; Byers, 1995; Tansey, 1993). Сообщается об использовании биоуправления по сенсомоторному (СМР; обычно 12-15 Гц) и бета-ритму (15-18 Гц) в форме тренинга, направленного на повышение мгновенных амплитудных значений средних частот ЭЭГ, в лечении эпилепсии (Lantz & Serman, 1988; Tozzo, Elfner & May, 1988; Serman & MacDonald, 1978), синдрома нарушения внимания и гиперактивности (СНВГ) (Lubar, Swartwood, Swartwood & O'Donnel, 1995; Rossiter & LaVaque, 1995; Lubar & Shouse, 1976), специфических проблем обучения (Tansey, 1985; Linden, Habib & Radojevic, 1996) и некоторых состояний, связанных с СНВГ, таких как бруксизм, тики и неустойчивость настроения (Alhambra, Fowler & Alhambra, 1995; Tansey, 1986). Минимальная закрытая черепномозговая травма, рассеянный склероз, аутизм, синдром хронической усталости и предменструальный синдром возглавляют растущий список состояний, которые, по сообщениям клиницистов, частично или полностью излечиваются при помощи ЭЭГ – биоуправления по СМР и бета-ритму (cf. Othmer, готовится к публикации).

Явное разнообразие заболеваний, на которые воздействует ЭЭГ – биоуправление в диапазоне СМР и бета-ритма предполагает общность механизмов этих состояний, что соотносится с одной из теорий, которая пытается установить терапевтический механизм ЭЭГ – биоуправления по СМР и бета-ритму. Serman (1982) предположил, что СМР - биоуправление может восстанавливать регулирующую функцию таламокортикальных механизмов, связанных с вниманием. В частности, для конкурирующей модели с ограниченными ресурсами

найденно, что чрезмерное сенсомоторное возбуждение может препятствовать эффективному когнитивному функционированию (Sternan, 1996). Abarbanel (1995) сформулировал подобную модель саморегуляции, в которой процесс внимания модулировался таламокортикальными лимбическими цепями. В его модели долговременная потенциация являлась причиной стабильности функциональных состояний, формировавшихся в результате тренинга. Обе модели предполагают, что СМР-бета ЭЭГ- биоуправление влияет на механизмы, модулирующие внимание (Sternan, 1995; Abarbanel, 1995). Обе модели легко согласуются с симптоматологией и возможными механизмами СНВГ и эпилепсии. Основные симптомы СНВГ, невнимательность, импульсивность или гиперактивность, связаны со снижением активации лобной коры и подкорковых структур (Zametkin et.al., 1990; Mann, Lubar, Zimmerman, Miller & Muenchen, 1991). Повышенная возбудимость коры при эпилепсии может отражать дисфункцию систем активации в результате поломки механизмов таламического входа (Sternan, 1982). Наряду с моторными или вокальными тиками у пациентов, страдающих синдромом Туретта, часто отмечаются сомнамбулизм, ночные страхи и другие расстройства в системе регуляции сна и бодрствования (Barabas, Matthews & Ferrari, 1984). Процесс внимания, по-видимому, чрезвычайно чувствителен к любым сбоям в системе активации и поэтому он служит хорошим критерием эффективности восстановления этой функции.

The Test of Variables of Attention (TOVA) – это тест непрерывной деятельности, позволяющий оценить состояние внимания по отношению к нормативным данным. TOVA обеспечивает количественную оценку эффективности ЭЭГ-биоуправления по СМР и бета- ритму на основании улучшения специфических критериев внимания, таких как контроль импульсивности и постоянство времени ответа. Отсутствие эффектов привыкания при повторном тестировании, использование невербальных стимулов и большая продолжительность теста (22,5 минуты) – причины удобства использования TOVA для оценки эффективности лечения пациентов с СНВГ, трудностями в обучении и сходными проблемами (Greenberg, 1987).

Цель настоящего исследования - оценка эффективности ЭЭГ- биоуправления по СМР и бета- ритму у детей и взрослых, имеющих проблемы внимания по данным TOVA.

## **Метод**

### **Испытуемые**

408 детей и подростков (возраст 6-16 лет, в среднем 10,7) и 122 взрослых (17-67 лет, в среднем 37,2) участвовали в этом исследовании. Число лиц женского пола составляло менее четверти в группе детей и подростков и около половины в группе взрослых (92 и 58 соответственно). Испытуемые поступили из 9 клинических подразделений, являющихся филиалами EEG Spectrum Inc. и отобраны на основе данных TOVA до и после тренинга. Ни один из пациентов во время тестирования не принимал стимулянтов или антидепрессантов. Хотя основным диагнозом большинства испытуемых был СНВГ, многие из них имели в качестве сопутствующих состояний серьезные нарушения поведения (оппозиционное отклоняющееся поведение и расстройство поведения), синдром Турет-

та, минимальную черепно-мозговую травму, эпилепсию, тревожность и депрессию. В число испытуемых также входил ряд тех, кто был отнесен к СНВГ, но мог не иметь классических диагностических критериев для данного состояния. Диагнозы взрослых были разнообразными, но у большинства наблюдались нарушения внимания.

## **Материал**

Сеансы ЭЭГ- биоуправления выполнялись с помощью Neurocybernetics 2-Channel EEG systems. Все пациенты оценивались с помощью теста переменных внимания - The Test of Variables of Attention (TOVA) (Greenberg, 1987) - теста непрерывной деятельности, в котором испытуемому предъявляются значимые и незначимые стимулы в виде геометрических фигур. Использование отдельных незначимых стимулов позволяет рассматривать этот тест как Go/No-Go вид теста, который связан с функционированием лобной коры (e.g., Levin et. al., 1991). Результаты TOVA включают оценку ошибок пропусков (невнимательность), ошибок ложных реакций (импульсивность), времени ответов (скорость переработки информации) и дисперсии времени ответа (постоянство ответов). Данные представлены в стандартных единицах со стандартными отклонениями для каждого показателя в виде 15 пунктов выше и ниже среднего значения. Этот тест проводился с помощью РС компьютера, при ответе производилось нажатие на клавишу. Этот тест состоит только из двух невербальных стимулов и требует внимания пациента в течение 22,5 минут без продолжительного отдыха. Значимые и незначимые стимулы предъявляются в случайном порядке с разной вероятностью в двух частях теста (20% значимых стимулов в первой половине теста, 80% значимых стимулов во второй его половине), что служит для оценки импульсивности и невнимательности соответственно. Нормативные данные существуют для каждой возрастной группы: для детей - с интервалом в один год, а для взрослых - с интервалом в 10 лет (Greenberg & Waldman, 1993).

## **Методика**

Протокол тренинга заключался в увеличении амплитуды ЭЭГ в частотном диапазоне 12-18 Гц, сопровождавшемся подкрепляющим сигналом, при одновременном подавлении высокоамплитудных колебаний в низкочастотном (4-7 Гц) и высокочастотном (22-30 Гц) диапазонах. Один из электродов всегда размещался над сенсомоторной зоной (С3 или С4 согласно стандартной системе 10-20), реже - в лобной или теменной областях. Если активный электрод располагался в С3 или С4, использовался монополярный монтаж с одноименным ушным референтом. Если в тренинге участвовала лобная или теменная область, применялся биполярный монтаж С3-Fpz или С4-Pz . Левосторонний С3 или правосторонний С4 тренинг состоял в увеличении активности 15-18 Гц и 12-15 Гц соответственно. Иногда эти два протокола использовались последовательно в течение одной сессии с соответствующей продолжительностью (10 мин. СМР, 20 мин. бета), подобранной на основе меняющейся симптоматики и результатов TOVA. Левосторонний тренинг (С3) заключался только в повышении бета активности, в то время как правосторонний - только в повышении мощности сенсомоторного ритма.

Тренинг включал в себя 30 минут аппаратного биоуправления с помощью зрительного или слухового сигнала обратной связи в течение 45- минутного сеанса. Визуальная обратная связь обеспечивалась разнообразными способами, например, изображением карты амплитуды ЭЭГ в повышаемом и подавляемом диапазонах с меняющейся яркостью, размерами, и/или быстротой появления объектов на мониторе. Чаще всего информация об амплитуде сигналов подавалась независимо для каждого частотного диапазона. В противном случае испытуемому путем лишения обычного подкрепления сообщалось о том, что порог подавляемой активности был превышен. Когда все подкрепляемые состояния удерживались, как минимум, в течение 0,5 сек, подавался сигнал обратной связи: звуковой сигнал и зрительный стимул (звезда в небе, полоса дороги). Сигнал визуальной обратной связи иногда дополнялся непосредственным тактильным и слуховым сигналом обратной связи в ответ на повышение амплитуды ЭЭГ в подкрепляемом диапазоне.

Испытуемые обследовались до тренинга и приблизительно после 20 сеансов. Пациенты, которые продолжали лечение, дополнительно тестировались приблизительно после 40 сессий. Большинство испытуемых завершили или прервали тренинг после 20 сеансов (в среднем 24,1, в пределах от 18 до 61 сеансов).

Поправка степени свободы Huynh-Feldt применялась ко всем взаимодействиям для отражения потенциальной несферичности четырех зависимых критериев. В случае, когда взаимодействие состояний (обработка зависимыми критериями) была значимой до уровня 0,1, планированное сравнение t-тестов использовалось для оценки различий для каждого зависимого критерия. Поправка Bonferroni для сложных тестов применялась для планированных сравнений.

## Результаты

Для оценки влияния группы факторов: медикаментозное лечение, пол и возраст использовался дисперсионный анализ (ANOVA). Фактор медикаментозного лечения оценивался у испытуемых, которые получали специфическое для данного заболевания лечение в любой период обучения ЭЭГ-биоуправлению. Информация о медикаментозном лечении имела только в 324 случаях, и анализировались только данные этих испытуемых. Не было обнаружено никакого влияния медикаментозного лечения  $F(2,551)=1,884$ , возраста  $F(2,447)=3,754$ ,  $p > .01$  и пола  $F(2,417)=0,949$ , на критерии TOVA. Поскольку никаких существенных различий между группами не было обнаружено, все группы были объединены в одну. Затем для оценки влияния ЭЭГ-биоуправления на четыре зависимых критерия TOVA: невнимательность (процент пропусков), импульсивность (процент неверных реакций), время ответа и дисперсия времени ответа был использован метод повторных измерений ANOVA. Низкие показатели были объединены в четыре стандартных отклонения ниже нормы (40 пунктов). Средние показатели TOVA до и после тренинга представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Средние стандартные значения показателей TOVA 324 пациентов с нарушениями внимания до тренинга и после приблизительно 20 сеансов ЭЭГ-биоуправления**

	До тренинга	После тренинга	Изменения
<b>Невнимательность</b>	<b>83.4</b>	<b>91.7</b>	<b>+ 8.3</b>
<b>Импульсивность</b>	<b>85.5</b>	<b>98.9</b>	<b>+ 13.4</b>
<b>Время ответа</b>	<b>89.9</b>	<b>88.4</b>	<b>- 1.5</b>
<b>Дисперсия вр. ответа</b>	<b>79.7</b>	<b>86.6</b>	<b>+ 6.9</b>

Сеансы ЭЭГ-биоуправления привели к значительному улучшению показателей внимания  $F(1,323)=38,678$ ,  $p<.001$ , импульсивности  $F(1,323)=191,266$ ,  $p<.001$  и дисперсии времени ответа  $F(1,323)=32,175$ ,  $p<.001$ . В отдельных случаях результаты лечения оказались особенно впечатляющими. Как видно из рисунка 1 только у небольшой группы испытуемых наблюдалось снижение показателей импульсивности, в то время как у большинства этот показатель значительно возрос по отношению к результатам тестирования до лечения. У многих испытуемых улучшение продолжалось и превысило границы возрастной нормы.

Рисунок 1. Стандартные показатели импульсивности по данным TOVA до и после лечения у 530 детей, подростков и взрослых. Каждая отдельная линия отражает изменения показателя до и после тренинга у отдельного субъекта. Данные распределены в соответствии с результатами TOVA до тренинга.

Пациенты, у которых показатели импульсивности перед лечением были более, чем на два стандартных отклонения ниже среднего уровня (70 и ниже) улучшили свои результаты больше, чем на 25 пунктов при оценке невнимательности  $F(1,92)=97,414$ ,  $p<.001$  и импульсивности  $F(1,79)=107,451$ ,  $p<.001$ . Улучшение было менее заметным, но все-таки впечатляющим по показателям времени ответа  $F(1,60)=15,587$ ,  $p<.001$  и дисперсии времени ответа  $F(1,110)=80,249$ ,  $p<.001$  (см. рисунок 2). В целом ЭЭГ-биоуправление привело к значительному улучшению у 75% всех испытуемых (половина стандартного отклонения повысилась на одну или более единиц). Эти значения сопоставимы с показателями эффективности психостимуляторов: сообщается приблизительно о 70% положительных ответов при их использовании (Cantwel,1994; Barkley,1990).

Рисунок 2. Стандартные показатели TOVA по всем четырем критериям до и после лечения у испытуемых со снижением исходных показателей на два и более стандартных отклонения ниже средних значений.

62 пациента подверглись дополнительному тренингу после того, как 20 сеансов были завершены. Это были пациенты, достигшие лишь скромного прогресса за 20 сеансов. Было обнаружено, что показатели импульсивности после 20 сеансов улучшились по сравнению с данными до лечения и затем продолжали улучшаться после 40 сеансов. Дисперсия времени ответа выявила значительные позитивные сдвиги только после завершения 40 сессий.

Рисунок 3. Стандартные показатели TOVA 62 пациентов перед лечением, после в среднем 20 сеансов и после в среднем 40 сеансов.

## Обсуждение результатов

В настоящей работе продемонстрирована эффективность ЭЭГ-биоуправления по СМР и бета- ритму в коррекции нарушений внимания с помощью анализа результатов лечения. Было обнаружено значительное повышение показателей внимания, контроля импульсивности и постоянства времени ответа в среднем после 20 сеансов. Наблюдалась устойчивая тенденция к улучшению внимания, причем особенно выраженные положительные сдвиги отмечались в случаях наиболее серьезных нарушений, выявленных при тестировании перед лечением. Более, чем в 3/4 всех случаев найдено улучшение по одному или более критериев, действенность метода при СНВГ сопоставима с эффектом применения психостимулянтов. Контроль импульсивности улучшился с пограничного функционального уровня (от показателя 85,5) перед тренингом до возрастной нормы (98,9). У испытуемых с серьезным снижением нескольких критериев перед лечением произошли значительные положительные изменения всех показателей. Показатель невнимательности в ответ на лечение возрос приблизительно на 2 стандартных отклонения. У испытуемых, решивших продлить лечение до 40 сеансов (n=42), контроль импульсивности и постоянство времени реакции продолжали улучшаться после 20 сеансов.

Malone, Kershner, Swanson (1994) для объяснения лечебных эффектов при СНВГ предложили нейрохимическую модель, которая обещает помочь в понимании причин эффективности ЭЭГ-биоуправления при использовании предложенного в данной работе протокола. Malone et al. (1994) усовершенствовали двухполушарную модель регуляции внимания и бодрствования, предложенную Tucker and Williamson (1984). Согласно этой модели, дофаминергическая система, связанная с работой левого полушария, участвует в поддержании тонической активации, активного внимания, контроле последовательности действий и планировании движений; в то же время норадренергическая система, связанная с работой правого полушария, участвует в фазной активации, ориентировочной реакции, поддерживает состояние бдительности и организует сдвиги внимания в целом. СНВГ трактуется как результат нарушения регуляции в этой системе асимметричного неврального контроля внимания и бодрствования. Эта поломка может заключаться в нарушении координированной работы двух полушарий, направленной на управление процессом внимания и, в частности, быть результатом недостаточного левополушарного тормозного контроля над правым полушарием. СНВГ в общих чертах характеризуется как состояние сниженной активации лобной коры левого полушария, опосредованной дофамином, при одновременной избыточной активации правосторонней теменной области, опосредованной норадреналином. Психостимуляторы типа метилфенидата, по видимому, влияют как на обе системы, норадреналиновую и дофаминовую, так и восстанавливают их баланс.

Настоящее исследование не претендует на полное подтверждение справедливости этой модели, поскольку данные не были получены путем случайного распределения, и в связи с тем, что при лечении пациентов не был использован единый протокол. Более того, наличие сопутствующих заболеваний, таких как синдром Туретта, минимальная черепно-мозговая травма, нарушение поведения, тревожность или депрессия у ряда пациентов послужило поводом к вы-

бору индивидуальных протоколов, и показатели контрольных исследований TOVA часто были смешаны, как показано на рис.1. В ряде случаев получено ухудшение показателей импульсивности. Тем не менее, ЭЭГ-биоуправление – единственное вмешательство при СНВГ, которое связано с точной полушарной локализацией и поэтому годится для оценки модели Malone. Дальнейшее исследование специфичности протоколов ЭЭГ-биоуправления должно пролить свет на задействованные в нем механизмы.