

УДК 57.034«32»: 612.821+57.087.1

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕАНСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ

Куличенко А. М., Эйсмонт Е. В., Туманянц К. Н., Кадуха В. В.

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

Изучалась эффективность сеансов биологической обратной связи по электроэнцефалограмме (ЭЭГ-БОС), направленного на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение в диапазоне тета-волн в разные сезонные периоды. В исследовании приняли участие 15 детей 5–11 лет, для которых были характерны трудности с концентрацией внимания, гиперактивность и эмоциональные проблемы. В качестве рабочей программы использовалась EEG Mapping 3. 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». Для оценки изменений, связанных с влиянием сеанса ЭЭГ-БОС и эффекта его последствия рассчитывали коэффициенты эффективности и последствия ЭЭГ-БОС.

Выявлено, что эффективность сеансов ЭЭГ-БОС, направленных на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение в диапазоне тета-волн зависит от продолжительности светового дня. Эффективность сеансов ЭЭГ-БОС имеет выраженную тенденцию увеличения в период с весны к лету и тренд снижения, наблюдаемый с лета к зиме. Рекомендуется учет фактора продолжительности светового дня для прогноза результативности коррекции психоэмоционального состояния детей методом обратной связи по характеристикам ЭЭГ.

Ключевые слова: биологическая обратная связь по электроэнцефалограмме, эффективность, сезонность.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одно наиболее перспективных направлений современных исследований и разработок связано с созданием так называемых интерфейсов «мозг – компьютер» (Brain-Computer-Interface), позволяющих человеку управлять внешними устройствами с помощью произвольно генерируемых паттернов активности мозга [1, 2]. Среди проблем, от решения которых во многом зависит будущее этой технологии, – поиск произвольно и устойчиво генерируемых человеком паттернов электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Он ведется в том числе с использованием технологии биологической обратной связи (БОС, biofeedback), в частности биообратной связи на основе ЭЭГ (neurofeedback, NFB). Последняя позволяет оценить не только принципиальную возможность произвольного управления теми или иными паттернами (характеристиками) ЭЭГ, но и возможность человека совершенствовать свои навыки в этом направлении.

Не менее важной является задача установления экзогенных и эндогенных факторов, оказывающих влияние на эффективность нейро-БОС-тренинга. В

доступной нам литературе встречаются лишь единичные исследования, посвященные изучению данной проблемы [2]. Тем не менее, практически всеми авторами, изучающими эффекты БОС, отмечается влияние индивидуальных особенностей на эффективность БОС-тренинга [2–6].

В работах Ince N. F и соавторов (2007), а также J. W. Yoon (2009) указывается на зависимость эффективности нейро-БОС-тренинга от функционального состояния организма [7, 8]. Универсальным критерием функционального состояния организма, его благополучия и одним из важнейших механизмов приспособления к окружающей среде являются биологические ритмы [9–12]. В связи с этим в последние годы существенно возрос научный и практический интерес к проблеме ритмической организации функционального состояния организма, как в норме, так и при патологии [13–17].

Несмотря на прогресс в разработке средств защиты от резких перепадов параметров окружающей среды, у человека обнаруживаются годичные колебания биохимических, физиологических и психофизиологических процессов. Сезонные биоритмы, главным регулятором которых является фотопериодизм, охватывая, по существу, все функции, отражаются на состоянии организма в целом, на здоровье и работоспособности человека [11, 18, 19]. К настоящему времени имеются немногочисленные работы с указанием на зависимость биоэлектрической активности мозга человека от сезонов года [20–24].

Ранее показано, что многократные тренировки ЭЭГ-БОС, направленные на повышение амплитуды альфа-ритма и снижение амплитуды тета-ритма, приводят к позитивным изменениям функционального состояния мозга, что отражается в изменении не только спектров мощности, но и когерентности ЭЭГ, а также в положительных изменениях в когнитивной и эмоциональной сферах [25–27]. Однако в доступной литературе отсутствуют сведения о влиянии цирканнуальных ритмов на эффективность нейро-БОС-тренингов.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы явилось изучение эффективности сеансов ЭЭГ-БОС, направленного на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение в диапазоне тета-волн в разные сезонные периоды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 15 практически здоровых испытуемых от пяти до одиннадцати лет (средний возраст – $7,10 \pm 1,52$), для которых были характерны трудности с концентрацией внимания, гиперактивность и эмоциональные проблемы. С детьми проводились тренировки, состоящие из 10 сеансов ЭЭГ-БОС.

Регистрация и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа («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».

В качестве референтного электрода в каждом случае использовали все электроды, кроме активного, объединенные вместе. Нейтральный (заземляющий) электрод располагали между локусами Fz и Cz. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1,5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц. Сигналы обрабатывали с помощью быстрых преобразований Фурье; применялось сглаживание по методу Блекмена. Обработка ЭЭГ во время проведения сеансов ЭЭГ-БОС основывалась на использовании цифровых фильтров Баттерворта четвертого порядка.

Во время сеанса ребенок сидел на удобном стуле перед столом, на котором были установлены монитор и аудио колонки. Визуальные сигналы обратной связи предъявлялись с экрана монитора, звуковые – подавались через колонки. Перед тренингом ребенку в максимально доступной форме объясняли зависимость параметров сигналов обратной связи от психологического состояния. Тренинги были направлены на увеличение амплитуды сенсомоторного ритма в частотном диапазоне 8–13 Гц и снижение амплитуды тета-ритма в частотном диапазоне 4–7 Гц. Во всех протоколах сигнал обратной связи изменялся в зависимости от характеристик тренируемых ритмов в локусе С4. Каждый сеанс длился 20–30 минут и включал в себя применение следующих протоколов, чередующихся в случайном порядке:

1. Регуляция громкости «белого шума» – громкость «белого шума» изменялась обратно пропорционально значению отношения амплитуд сенсомоторного и тета-ритмов: чем больше было данное отношение, тем меньшую громкость имел «белый шум».

2. Регуляция громкости «белого шума» на фоне музыки – громкость «белого шума» изменялась обратно пропорционально значению отношения амплитуд сенсомоторного и тета-ритмов на фоне музыки фиксированной громкости.

3. Регуляция громкости музыки – громкость музыки изменялась прямо пропорционально значению отношения амплитуд сенсомоторного и тета-ритмов; чем больше было данное отношение, тем громче звучала музыка.

4. Регуляция яркости цвета в картинках – яркость отдельных элементов картинок (например, плодов на дереве, солнца, цветов) изменялась прямо пропорционально значению амплитуды сенсомоторного ритма.

5. Игровой протокол – скорость движения главного игрового персонажа изменялась прямо пропорционально величине отношения амплитуд сенсомоторного и тета-ритмов.

6. Видеопротокол с использованием мультфильма – яркость изображения и громкость звука мультфильма изменялись прямо пропорционально значению отношения амплитуд сенсомоторного и тета-ритмов.

Как указано выше, в качестве контролируемого параметра при организации обратной связи использовался альфа/тета-индекс. Для его вычисления, а также с целью определения его детальной топографии вычисляли величины отношения спектральной плотности мощности (СПМ) альфа-ритма к спектральной плотности мощности тета-ритма во всех используемых отведениях для исходных (фоновых) записей «Глаза закрыты (1)», «ЭЭГ-БОС» – во время сеанса и «Глаза закрыты (2)» –

после сеанса биоуправления. Для сравнения величин отношения спектральной плотности мощности альфа-ритма к спектральной плотности мощности тета-ритма в исходных записях и записях сеанса ЭЭГ-БОС рассчитывали величины коэффициента эффективности ЭЭГ-БОС для всех отведений по формуле:

$$K_{\text{эфф}} = 100 \times \frac{\text{ЭЭГ-БОС}_{\alpha}^{\theta}}{\text{ГЗ}_{1\alpha}^{\theta}} \quad (1),$$

где $K_{\text{эфф}}$ – коэффициент эффективности ЭЭГ-БОС, $\text{ЭЭГ-БОС}_{\alpha}^{\theta}$ – индекс альфа/тета активности, вычисленный в записи сеанса ЭЭГ-БОС, $\text{ГЗ}_{1\alpha}^{\theta}$ – индекс альфа/тета активности, вычисленный в фоновой записи ЭЭГ «Глаза закрыты (1)».

Для выявления эффектов последействия рассчитывали коэффициент последействия ЭЭГ-БОС для использованных отведений по следующей формуле:

$$K_{\text{пд}} = 100 \times \frac{\text{ГЗ}_{2\alpha}^{\theta}}{\text{ГЗ}_{1\alpha}^{\theta}} \quad (2),$$

где $K_{\text{пд}}$ – коэффициент последействия ЭЭГ-БОС, $\text{ГЗ}_{2\alpha}^{\theta}$ – индекс альфа/тета активности, вычисленный в повторной записи ЭЭГ «Глаза закрыты (2)», $\text{ГЗ}_{1\alpha}^{\theta}$ – индекс альфа/тета активности, вычисленному в фоновой записи ЭЭГ «Глаза закрыты (1)».

Эти величины биоэлектрической активности мозга приняты для оценки изменений, связанных с влиянием сеанса ЭЭГ-БОС и эффекта его последействия.

В апостериорном режиме спектральные характеристики ЭЭГ анализировали с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) в рамках процедуры повторных измерений (Repeated Measures), реализованного в пакете прикладных программ Statistica 10. Предварительно для приближения к нормальному распределению они подвергались log-трансформации. Анализировались текущие значения индекса альфа/тета активности за весь период каждой из проб нейрообратной связи. Наблюдаемые различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью выявления влияния фактора сезона года на изменения взаимоотношений ритмической активности регионов неокортекса проведен сравнительный анализ значений коэффициентов эффективности ЭЭГ-БОС ($K_{\text{эфф}}$), рассчитанных для четырех сезонов года. На рисунке 1 приведены результаты сравнительного анализа эффективности биологической обратной связи по ЭЭГ, зарегистрированной в разные сезоны года.

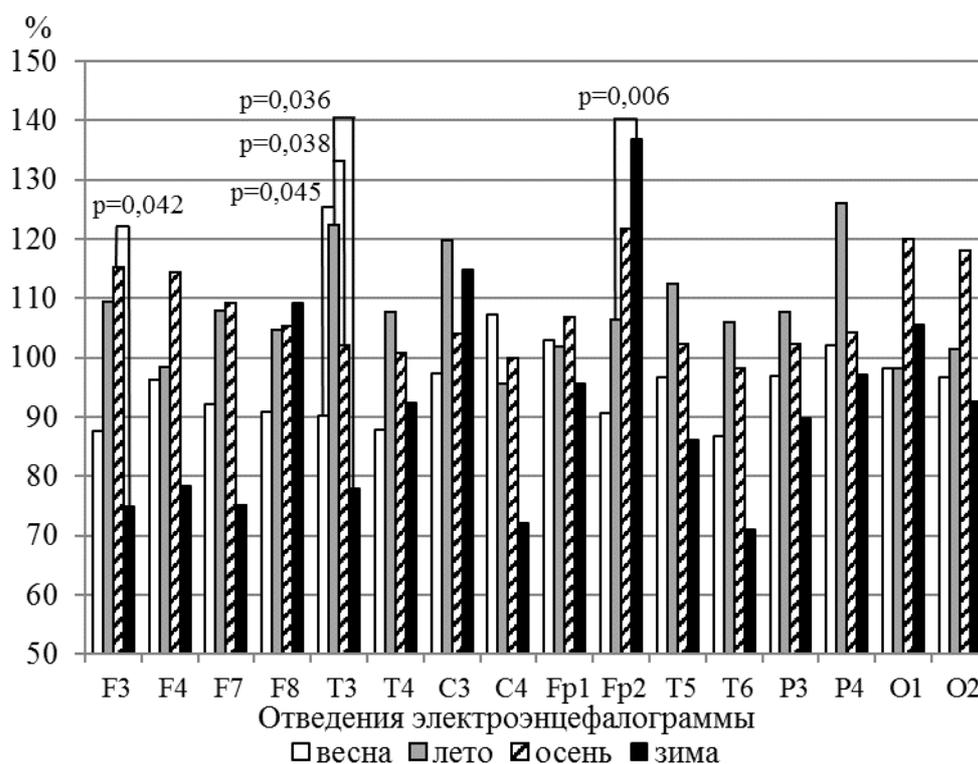


Рис. 1. Результаты сравнительного анализа коэффициентов эффективности биологической обратной связи по ЭЭГ, зарегистрированной в разные сезоны года. *Примечания.* Цифрами над столбиками указаны числовые значения уровня значимости различий между соответствующими указанными линиями парами коэффициентов эффективности.

Как видно из рисунка 1 фактор сезонности проявляется в статистически значимых различиях $K_{эфф}$, наблюдаемых в локусах F3, T3 и Fp2. Так, в записях ЭЭГ испытуемых, зарегистрированных в локусе F3 во время сеансов ЭЭГ-БОС осенью $K_{эфф}$ составил 115,32 %, зимой этот показатель составил 74,87 % ($p=0,042$). В записях ЭЭГ испытуемых, зарегистрированных в локусе T3 во время сеансов ЭЭГ-БОС в весенний период $K_{эфф}$ составлял 90,23 %, летом этот показатель составил 122,36 % ($p=0,045$). В этом локусе статистически значимыми явились различия $K_{эфф}$, наблюдаемого летом по сравнению с зафиксированными значениями осенью 102,11 % ($p=0,038$) и зимой – 77,94 % ($p=0,036$). В записях ЭЭГ испытуемых, зарегистрированных в локусе Fp2 во время сеансов ЭЭГ-БОС летом $K_{эфф}$ составлял 122,36 %, зимой этот показатель составил 77,93 % ($p=0,036$).

Позитивным эффектом ЭЭГ-БОС является наблюдаемое во время регистрации записи последействия ЭЭГ-БОС («Глаза закрыты» 2) сохранение в паттерне ЭЭГ альфа/тета отношения, близкого по амплитуде к записям, регистрируемым в период

непосредственно ЭЭГ-БОС. Для оценки влияния фактора сезона года на эффект последействия ЭЭГ-БОС, проведен сравнительный анализ коэффициентов последействия ($K_{пл}$), рассчитанных для четырех сезонов года (рис. 2).

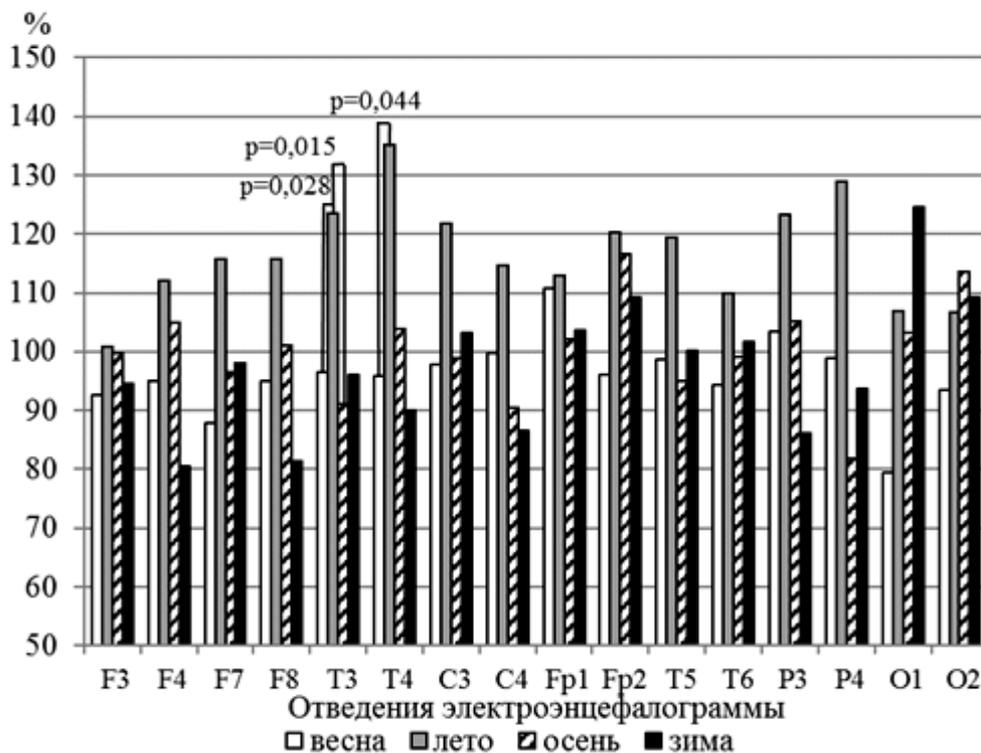


Рис. 2. Результаты сравнительного анализа коэффициентов последействия биологической обратной связи по ЭЭГ, зарегистрированной в разные сезоны года
Примечания. Цифрами над столбиками указаны числовые значения уровня значимости различий между соответствующими указанными линиями парами коэффициентов последействия

В результате выявлено, что в записях ЭЭГ испытуемых, зарегистрированных в локусе Т3 во время сеансов ЭЭГ-БОС в весенний период $K_{пл}$ составлял 96,46 %, летом этот показатель составил 123,52 % ($p=0,028$). В этом локусе статистически значимыми явились различия $K_{пл}$, наблюдаемого летом по сравнению с зафиксированными значениями осенью 91,18 % ($p=0,015$). В записях ЭЭГ испытуемых, зарегистрированных в локусе Т4 во время сеансов ЭЭГ-БОС весной $K_{пл}$ составлял 96,90 %, летом этот показатель составил 135,09 % ($p=0,044$).

Дисперсионный анализ также позволил выявить статистически значимое влияние фактора «сезонность» на эффект последействия ЭЭГ-БОС, наблюдаемый в локусе Т3 (рис. 3).

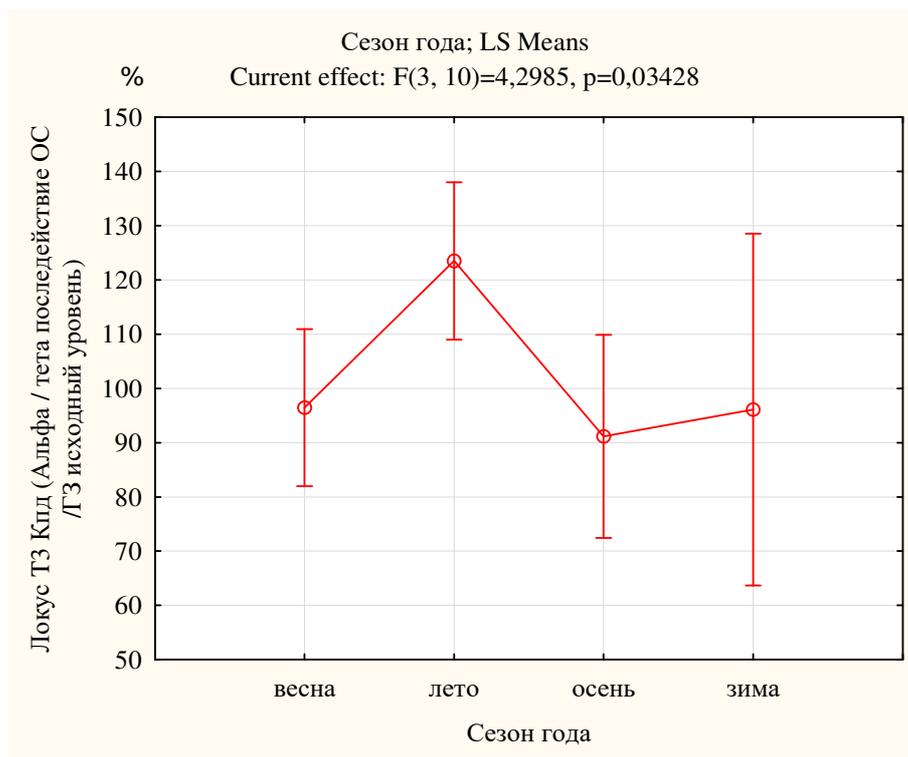


Рис. 3. Влияние фактора «сезонность» на эффект последствия ЭЭГ-БОС, отмеченный в локусе Т3

Из приведенных результатов можно заключить, что от фактора «сезонность» зависят эффекты последствия ЭЭГ-БОС. Как и в случае с результатами анализа влияния этого фактора на показатель $K_{эфф}$ наиболее чувствительным к сезонным изменениям явился локус Т3.

Таким образом, что эффективность сеансов ЭЭГ-БОС проведенных тревожным детям в возрасте от 5 до 11 лет курса сеансов ЭЭГ-БОС зависит от продолжительности светового дня. Как видно из рисунка 1 наблюдается выраженная тенденция увеличения эффективности сеансов ЭЭГ-БОС в период с весны к лету и тренд снижения, наблюдаемый с лета к зиме.

В соответствии с наблюдаемыми изменениями отношений СПМ альфа- к тета- ритму ЭЭГ, регистрируемой в различные сезоны года отмечается выраженная тенденция к увеличению эффективности ЭЭГ-БОС в большинстве (87,5 %) использованных отведений в период с весны к лету. Статистически значимыми явились различия эффективности ЭЭГ-БОС в темпоральном (Т3) локусе в период увеличения продолжительности светового дня. Во время смены лета к осени более, чем в половине отведений (56,3 %) также наблюдалась тенденция к увеличению эффективности ЭЭГ-БОС, которая ни в одном из отведений не проявила статистически значимых различий. Наиболее существенными явились изменения

эффективности ЭЭГ-БОС, наблюдаемые в записях ЭЭГ зимой. В большинстве отведений (81,3 %) наблюдалось существенное снижение эффективности ЭЭГ-БОС. Статистически значимыми явились различия во фронтальном (F3) и темпоральном (T3) отведениях. Исключением явилось наблюдаемое в отведении Fp2 статистически значимое увеличение эффективности ЭЭГ-БОС зимой по сравнению с летним периодом. В результате исследования показано, что эффективность сеансов ЭЭГ-БОС имеет выраженную тенденцию увеличения в период с весны к лету и тренд снижения, наблюдаемый с лета к зиме. Подобная закономерность наблюдалась и в случае изменений эффектов последствия ЭЭГ-БОС.

Предполагается, что в основе механизмов наблюдаемых сезонных различий в эффективности сеансов БОС лежат изменения в течение года светового и температурного режимов. Наблюдаемые в зимний период изменения эффективности сеансов БОС свидетельствуют об адаптивных перестройках ЦНС, происходящих через психоэмоциональное напряжение и развитие охранительного торможения, что проявляется снижением уровня активации головного мозга у испытуемых. Считается, что адаптивные перестройки связаны с фотопериодизмом, происходят в контрастные периоды года и протекают более благоприятно в период уменьшения естественной освещенности по сравнению с периодом увеличения светового дня [28]. В результате исследования параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников в различных условиях естественной освещенности А. В. Грибанов вместе с соавторами пришел к выводу о том, что сенсорная депривация в отдельные периоды года приводит к адаптивным перестройкам ЦНС, неустойчивости корково-подкорковых взаимоотношений, препятствует возможности длительного сосредоточения на определенных видах деятельности, затрудняет восприятие новой информации и может сопровождаться неадекватными эмоциональными и поведенческими реакциями. По мнению авторов, периоды максимальной и минимальной продолжительности светового дня можно считать более благоприятными для развития головного мозга и формирования познавательной деятельности [28]. Результаты нашего исследования согласуются с этими выводами.

В соответствии с полученными результатами можно полагать, что зима по сравнению с другими сезонами года является неблагоприятным периодом для проведения сеансов звуковой БОС-терапии по альфа/тета-протоколу.

В целом обнаруживается подобная приведенной выше тенденция позитивных изменений в период с весны к лету и тренд снижения, наблюдаемый с лета к зиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено, что эффективность сеансов ЭЭГ-БОС, направленных на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение в диапазоне тета-волн зависит от продолжительности светового дня.
2. Эффективность сеансов ЭЭГ-БОС имеет выраженную тенденцию увеличения в период с весны к лету и тренд снижения, наблюдаемый с лета к зиме.
3. Рекомендуется учет фактора продолжительности светового дня для прогноза результативности коррекции психоэмоционального 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 ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Daly J. J. Brain-computer interface: current and emerging rehabilitation applications / J. J. Daly, J. E. Huggins // Arch Phys Med Rehabil. – 2015. – Vol. 96, No 3. – P. 1–7. doi:10.1016/j.apmr.2015.01.007.
2. Нейротехнологии: нейро-БОС и интерфейс «мозг – компьютер»: монография / В. Н. Кирой, Д. М. Лазуренко, И. Е. Шепелев, Е. В. Асланян, Н. Р. Миняева, О. М. Бахтин. // Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 244 с.
3. Базанова О. М. Биоуправление в оптимизации музыкальной деятельности / Базанова О. М., Штарк М. Б. // Бюллетень СО РАМН. – 2004. – № 3 (113). – С. 114–122.
4. Горев А. С. Эффективность БОС-тренинга регуляции функционального состояния в зависимости от индивидуальных психологических характеристик / Горев А. С., Панова Е. Н. // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 5. – С. 25–31.
5. Рогожина Н. В. Связь параметров темперамента с эффективностью БОС-альфа-тренинга / Рогожина Н. В. // Тезисы трудов Второй всерос. науч. школы «Нейробиология и новые подходы к искусственному интеллекту и науке о мозге». – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ. – 2011. – С. 139–143.
6. Каплан А. Я. ЭЭГ как управляющий сигнал: на пути к биотехнической нейрокоммуникации / А. Я. Каплан // Биоуправление: теория и практика. – Новосибирск, 2010. – С. 7–19.
7. Ince N. F. Extraction subject-specific motor imagery time-frequency patterns for single trial EEG classification / N. F. Ince, A. H. Tewfik, S. Arica // Computers in Biology and Medicine. – 2007. – Vol. 37, No 4. – P. 499–509.
8. Yoon J. W. Adaptive classification for Brain Computer Interface systems using Sequential Monte Carlo sampling / J. W. Yoon, St. J. Roberts, M. Dyson, J. Q. Gan // Neural Networks. – 2009. – Vol. 22, No 9. – P. 1286–1294.
9. Агаджанян Н. А. Биоритмы системы гемостаза при производственных миграциях. / Агаджанян Н. А., Фатеева Н. М., Колпаков В. В. – Москва-Тюмень: Изд-во ТГМА, 1999. – 58 с.
10. Фатеева Н. М. Биоритмы физиологических функций организма здорового человека в условиях г. Тюмени / Н. М. Фатеева // Проблемы ритмов в естествознании: Матер. Международного симпозиума, Москва, 2004. – С. 451–453.
11. Гора Е. П. Экология человека / Е. П. Гора – Учебное пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2007. – 540 с.
12. Ежов С. Н. Основные концепции биоритмологии / С. Н. Ежов // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2008. – № 2. – С. 104–121.
13. Романов Ю. А. Общие положения теории пространственно-временной организации биологических систем / Ю. А. Романов // Вестн. РАМН. – 2002. – № 6. – С. 13–18.
14. Хильдебрандт Г. Хронобиология и хрономедицина / Г. Хильдебрандт, М. Мозер, М. Лехофер – М.: Арбения, 2006. – 144 с.
15. Arraj M. Circadian rhythms in heart rate, motility, and body temperature of wild-type C57 and eNOS knock-out mice under light-dark, free-run, and after time zone transition / M. Arraj, B. Lemmer // Chronobiol. Int. – 2006. – Vol. 23, No 4. – P. 795–812.
16. Салова Ю. П. Хронобиологические маркеры функционального состояния и процессов утомления спортсменов – современные вопросы биомедицины / Ю. П. Салова // Современные вопросы биомедицины. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 57–63.

17. Янцев А.В. Физиолого-биохимические особенности людей различного хронотипа / А. В. Янцев, А. В. Кириллова, В. Ф. Чехун // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), № 1. – С. 73–82.
18. Исаев А. П. Биологические ритмы сезонных механизмов адапционно-компенсаторных изменений функционального состояния студентов / А. П. Исаев, Р. У. Гаттаров, В. Б. Моторин // Человек. Спорт. Медицина. – 2009. – № 39 (172). – С. 48–52.
19. Aguglia A. The role of seasonality and photoperiod on the lethality of suicide attempts: A case-control study / A. Aguglia, G. Serafini, P. Solano, G. Giacomini et al. // J. Affect. Disord. – 2019. – Vol. 1, No 246. – P. 895–901.
20. Danesi M.A. Seasonal Variations in the Incidence of Photoparoxysmal Response to Stimulation Among Photosensitive Epileptic Patients: Evidence from Repeated EEG Recordings / M. A. Danesi // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. – 1988. – Vol. 51, No 6. – P. 875–877.
21. Başar E. The Selectively Distributed Theta System: Functions / E. Başar, M. Schürmann, O. E. Sakowitz // Int. J. Psychophysiol. – 2001. – Vol. 39, No 2–3. – P. 197–212.
22. Motta E. Seizure frequency and bioelectric brain activity in epileptic patients in stable and unstable atmospheric pressure and temperature in different seasons of the year – a preliminary report / E. Motta, A. Gołba, A. Bal, Z. Kazibutowska, M. Strzała-Orzeł // Neurologia i neurochirurgia polska. – 2011. – Vol. 45, No 6. – P. 561–566.
23. Джос Ю. С. Сезонные изменения биоэлектрической активности головного мозга у детей младшего школьного возраста, проживающих в условиях Севера / Ю. С. Джос, А. В. Грибанов // Вестн. Урал. мед. академ. науки. – 2014. – № 2(48). – С. 25–29.
24. Сороко С.И. Особенности сезонных перестроек центральных механизмов регуляции у детей-северян с разным уровнем социального риска / С.И. Сороко, В.П. Рожков, С.С. Бекшаев // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2013. – Т. 99, № 12. – С. 1435–1449.
25. 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 / Neurophysiology. – 2011. – Т. 43, No 1. – С. 63–72.
26. 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.
27. Куличенко А.М. Изменение когерентности ЭЭГ в результате прохождения курса нейротерапии детьми 5–11 лет / А. М. Куличенко, Е. В. Эйсмонт, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия – 2018. – Т. 4 (70), № 1. – С. 43–54.
28. Грибанов А. В. Изменения параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников-северян 16–17 лет в различных условиях естественной освещенности / А. В. Грибанов, Ю. С. Джос, Н. Н. Рысина // Экология человека – 2013. – № 6. – С. 42–48.

SEASONAL CHANGES IN THE EFFICIENCY OF BIOLOGICAL FEEDBACK SESSIONS ON THE ELECTRO-END CEPHALOGRAM

Kulichenko A. M., Eismont E. V., Tumanyants K. N., Kaduha V. V.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

We studied the effectiveness of a tenfold course of biofeedback sessions on an electroencephalogram (EEG-BFB), aimed at increasing the power of the EEG signal in the alpha rhythm range and decreasing in the theta-wave range in different seasonal periods. The study involved 15 children 5–11 years old, which were characterized by difficulties

with concentration, hyperactivity and emotional problems. EEG Mapping 3 was used as a work program. EEG potentials were diverted monopolarly from the Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, T3, T4, C3, C4, T5, T6, P3, P3, P4, O1, and O2 loci in accordance with international system "10-20".

Revealed the prevalence of efficiency in the summer. In accordance with the observed changes in the SPM alpha to the EEG theta rhythm recorded in different seasons, there is a pronounced tendency for the EEG – BOS efficiency to increase in the majority (87,5 %) of used leads in the period from spring to summer. The differences in the effectiveness of EEG-BFB in the temporal (T3) locus were statistically significant. The enhancement of the spectral characteristics of the high-frequency oscillations of the beta1 range is noted in the temporal ($p < 0,05$), as well as in the frontal ($p < 0,05$), central ($p < 0,05$) and parietal ($p < 0,02$) regions of the brain during the period of increased daylight hours.

During the summer to autumn change in more than half of the leads (56,3 %), there was also a trend towards an increase in the efficiency of the EEG-BFB, which did not show any statistically significant differences in any of the leads. The most significant were the changes in the EEG-BFB efficiency observed in the EEG records in winter. In most leads (81,3 %), a significant decrease in the EEG-BFB efficiency was observed. Differences in frontal (F3) and temporal (T3) leads were statistically significant. An exception was the statistically significant increase in the EEG-BFB efficiency observed in the lead in Fp2 in winter compared with the summer period. The study showed that the effectiveness of EEG-BFB sessions aimed at increasing the power of the EEG signal in the alpha-rhythm range and decrease in the theta-wave range depends on the length of the daylight hours. The effectiveness of EEG-BFB sessions has a pronounced tendency to increase during the period from spring to summer and the downward trend observed from summer to winter. It is recommended to take into account the factor of the length of daylight for predicting the effectiveness of the correction of the psycho-emotional state of children by the method of feedback on the EEG characteristics.

Keywords: electroencephalogram biofeedback, efficiency, seasonality.

References

1. Daly J.J. and Huggins J.E. Brain-computer interface: current and emerging rehabilitation applications, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **96** (3), 1 (2015). doi:10.1016/j.apmr.2015.01.007.
2. Kiroj V. N., Lazurenko D. M., Shepelev I. E., Aslanyan E. V., Minyaeva N. R. and Bahtin O. M. *Nejrotekhnologii: nejro-BOS i interfejs «mozg-komp'yuter»: monografiya* (Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2017).
3. Bazanova O. M. and Shtark M. B. Bioupravlenie v optimizacii muzykal'noj deyatel'nosti. *Byulleten' SO RAMN.* **3(113)**, 114 (2004).
4. Gorev A. S. and Panova E. N. Effektivnost' BOS-treninga regulyacii funkcional'nogo sostoyaniya v zavisimosti ot individual'nyh psihologicheskikh harakteristik. *Fiziologiya cheloveka.* **35** (5), 25 (2009).
5. Rogozhina N. V., Svyaz' parametrov temperamenta s effektivnost'yu BOS-al'fa-treninga, *Tezisy trudov Vtoroj vseros. nauch. shkoly «Nejrobiologiya i novye podhody k iskusstvennomu intellektu i nauke o mozge»* (Rostov n/D: Izd-vo YUFU, 2011), p. 139.
6. Kaplan A. Ya. EEG kak upravlyayushchij signal: na puti k biotekhnicheskoy nejrokommunikacii. *Bioupravlenie-21: teoriya i praktika* (Novosibirsk, 2010).
7. Ince N.F., Tewfik A.H. and Arica S. Extraction subject-specific motor imagery time-frequency patterns for single trial EEG classification. *Computers in Biology and Medicine.* **37(4)**, 499 (2007).

8. Yoon J.W, Roberts St.J., Dyson M. and Gan J.Q. Adaptive classification for brain computer interface systems using sequential Monte Carlo sampling. *Neural Networks*. **22(9)**, 1286 (2009).
9. Agadzhanyan N.A., Fateeva N.M. and Kolpakov V.V. *Bioritmy sistemy gemostaza pri proizvodstvennyh migratsiyah* (Moskva-Tyumen': Izd-vo TGMA, 1999).
10. Fateeva N.M., Bioritmy fiziologicheskikh funktsij organizma zdorovogo cheloveka v usloviyah g. Tyumeni, *Problemy ritmov v estestvoznanii: Mater. Mezhdunarodnogo simpoziuma*, 451 p. (Moskva, 2004)
11. Gora E.P. *Ekologiya cheloveka*. Uchebnoe posobie dlya vuzov (Moskva: Drofa, 2007).
12. Ezhov S. N. Osnovnye koncepcii bioritmologii. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie*, **2**, 104 (2008).
13. Romanov Yu. A. Obshchie polozheniya teorii prostranstvenno-vremennoj organizatsii biologicheskikh system, *Vestn. RAMN*, **6**, 13 (2002).
14. Hil'debrandt G. Mozer M., Lekhofer M., *Hronobiologiya i hronomedicina* (M.: Arbeniya, 2006).
15. Arraj M. and Lemmer B., Circadian rhythms in heart rate, motility, and body temperature of wild-type C57 and eNOS knock-out mice under light-dark, free-run, and after time zone transition. *Chronobiol. Int.* **23(4)**, 795 (2006).
16. Salova Yu. P. Hronobiologicheskie markery funktsional'nogo sostoyaniya i processov utomleniya sportsmenov sovremennye voprosy biomeditsiny. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*. **1 (1)**, 57 (2017).
17. Yantsev A.V., Kirillova A.V. and Chekhun V. F. Physiological and biochemical characteristics of people of different chronotype, *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **3 (1)**, 73 (2017).
18. Isaev A.P., Gattarov R. U., Motorin V. B. Biologicheskie ritmy sezonnykh mekhanizmov adaptatsionno-kompensatornykh izmenenij funktsional'nogo sostoyaniya studentov. *Chelovek. Sport. Medicina*. **39 (172)**, 48 (2009).
19. Aguglia A., Serafini G., Solano P., Giacomini G., Conigliaro C., Salvi V., Mencacci C., Romano M., Aguglia E. and Amore M. The role of seasonality and photoperiod on the lethality of suicide attempts: A case-control study, *J. Affect. Disord.* **1 (246)**, 895 (2019).
20. Danesi M. A. Seasonal variations in the incidence of photoparoxysmal response to stimulation among photosensitive epileptic patients: evidence from repeated EEG recordings, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. **51 (6)**, 875 (1988).
21. Başar E., Schürmann M. and Sakowitz O. E. The Selectively Distributed Theta System: Functions, *Int. J. Psychophysiol.* **39 (2-3)**, 197 (2001).
22. Motta E., Gołba A., Bal A., Kazibutowska Z. and Strzała-Orzeł M. Seizure frequency and bioelectric brain activity in epileptic patients in stable and unstable atmospheric pressure and temperature in different seasons of the year – a preliminary report, *Neurologia i neurochirurgia polska*. **45 (6)**, 561 (2011).
23. Dzhos Yu. S. and Griбанov A. V., Sezonnnye izmeneniya bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga u detej mladshego shkol'nogo vozrasta, prozhivayushchih v usloviyah Severa, *Vestn. Ural. med. akadem. Nauki*, **2 (48)**, 25 (2014).
24. Soroko S. I., Rozhkov V. P. and Bekshaev S. S. Osobennosti sezonnykh perestroek central'nykh mekhanizmov regulyatsii u detej-severyan s raznym urovnem social'nogo riska, *Ros. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. **99 (12)**, 1435 (2013).
25. Eismont E. V., Lutsyuk N. V. and Pavlenko V. B. Moderation of increased anxiety in children and teenagers with the use of neurotherapy: estimation of the efficacy, *Neurophysiology*. **43 (1)**, 63 (2011).
26. Eismont Y.V., Aliyeva T. A., Lutsyuk N. V. and Pavlenko V. B. Application of EEG feedback for the correction of psychoemotional state of children, *Bulletin of Siberian Medicine*, **12 (2)**, 175 (2013) doi:10.20538/1682-0363-2013-2-175-181.
27. Kulichenko A.M., Eismont E.V. and Pavlenko V.B., Change of EEG coherence after results of the course of neurotherapy by children 5–11 years, *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **4 (1)**, 43 (2018).
28. Griбанov A.V., Dzhos Yu. S. and Rysina N. N., Changes of settings of brain bioelectrical activity in northern schoolchildren aged 16–17 in different ambient light conditions, *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*, **6**, 42 (2013).