

*Заключение.* Отсутствие синхронизации тета-ритма во время прослушивания слов у детей с нарушением рецептивной речи может отражать нарушение процессов извлечения слов из памяти и меньшую эмоциональную вовлеченность в процесс восприятия речи [2], тогда как отсутствие десинхронизации альфа-ритма в центральных отведениях предположительно отражает нарушение внутреннего проговаривания слов и меньшую вовлеченность переднего дорсального потока в процесс восприятия речи [3].

### **Библиографические ссылки**

1. *Delorme A., Makeig S.* EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis // *J. of Neuroscience Methods*. 2004. Vol. 1 (134). P. 9–21.

2. *Начарова М. А., Михайлова А. А., Говорун Я. Ю. и др.* Нейрофизиологические механизмы восприятия речи и их особенности у детей в норме и при нарушениях развития // *Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: Биология. Химия*. 2020. Т. 6 (72), № 3. С. 146–162.

3. *Jenson D., Harkrider A. W., Thornton D. et al.* Auditory cortical deactivation during speech production and following speech perception: an EEG investigation of the temporal dynamics of the auditory alpha rhythm // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 534.

**Д. В. Павленко**

*Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского  
Симферополь, Россия*

### **Комплекс компьютерных программ для коррекции развития детей с аутизмом на основе биологической обратной связи по ЭЭГ**

Выполнена разработка программ-нейроинтерфейсов, предназначенных для анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и управления тренингами биологической обратной связи. Анализ ЭЭГ включает в себя фильтрацию, вычисление амплитуды частотных характеристик

и расчет процентного соотношения мощностей ритмов ЭЭГ. Программы предназначены для проверки методики коррекции расстройств аутистического спектра путем изменения характеристик мю-ритма ЭЭГ, который имеет аномальные свойства у людей с данным типом расстройств и предположительно является отображением работы системы зеркальных нейронов человека. В настоящий момент проводится апробация комплекса программ на разных группах испытуемых.

*Ключевые слова:* нейроинтерфейс, зеркальная система мозга, электроэнцефалограмма, биологическая обратная связь, расстройства аутистического спектра

**Dmitry V. Pavlenko**

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University*

Simferopol, Russia

### **Complex of Computer Programs for Correction of Development of Children With Autism Based on Biological Feedback by EEG**

The development of neurointerface programs designed for the analysis of the electroencephalogram and management of biofeedback trainings has been completed. EEG analysis includes filtering, calculation of amplitude frequency characteristics and calculation of the percentage ratio of the powers of the electroencephalogram rhythms. The programs are designed to test the methodology for correcting autism spectrum disorders by changing the characteristics of the EEG mu-rhythm, which has unusual properties in people with this type of disorder and is theoretically a reflection of the work of the human mirror neuron system. At the moment, a set of programs is being tested on different groups of subjects.

*Keywords:* neurointerface, brain mirror system, electroencephalogram, biofeedback, autism spectrum disorders

*Введение.* В данном проекте применяется методика биологической обратной связи (БОС) по ЭЭГ на основе оценки мощности мю-ритма. Нарушения в реактивности этого ритма характерны для детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) [1; 2].

Предполагается, что обучение управлению мю-ритмом и улучшение его показателей могут существенно повлиять на развитие ребенка. Впервые комплекс программ, включающих социальное взаимодействие ребенка, разработан для компьютерных энцефалографов российского производства (серии «Нейрон-Спектр»). Идея данного проекта была основана на результатах исследований ученых из Британии и США, которые применяли метод БОС по параметрам мю-ритма и выявили существенные положительные изменения состояния пациентов после проведения тренингов, но их методика не получила широкого распространения [3].

На данный момент природа аутизма изучена недостаточно, а эффективность различных методов его коррекции может сильно отличаться у разных больных и в разных исследованиях. Результат данной работы может стать основой новой методики коррекции заболевания или комплексной терапии. В ходе исследования проводятся измерение показателей ЭЭГ испытуемых и поиск их корреляции с нарушениями социального и когнитивного характера, что может пролить свет на некоторые неврологические механизмы и этиологию РАС.

*Материалы и методы.* Одна из разработанных программ предназначена для получения данных по протоколу *labstreaminglayer*, фильтрации и обработки ЭЭГ для выделения управляющего сигнала и выступает в процессе БОС в роли промежуточного звена между программным обеспечением электроэнцефалографа и играми-тренингами (БОС-модулями). Она рассчитывает спектр сигналов ЭЭГ при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье и определяет мощность сигнала в определенном частотном диапазоне. Модули БОС представляют из себя мини-игры с изображением анимированных лиц реальных людей или нарисованных персонажей, которые начинают улыбаться при изменении необходимых параметров ЭЭГ.

В ходе исследования тестовые группы, состоящие из 20 нормально развивающихся взрослых, 20 нормально развивающихся детей (в возрасте от четырех до 16 лет) и 20 детей с установленным диагнозом РАС того же возраста участвуют в тренингах БОС. Перед первым и после последнего занятия испытуемые проходят ряд

тестов и энцефалографических обследований, заполняют специализированные опросники для определения выраженности аутистических черт. В ходе тренингов испытуемые управляют простыми компьютерными играми, в которых сигналом обратной связи является выражение лица персонажа на экране компьютера. Изменение выражения лица зависит от мощности выбранного мю-ритма ЭЭГ. Записи ЭЭГ, полученные во время тренингов и при обследовании, анализируются для оценки реактивности мю-ритма и когерентности ритмов в определенных корковых областях.

Для проведения тренингов нейротерапии с использованием разработанного комплекса программ необходим электроэнцефалограф серии «Нейрон-Спектр» (модели 3, 4, 5) или аналогичный, позволяющий выводить информацию по протоколу LSL (данные об этом можно получить у производителя электроэнцефалографа). Для обработки результатов применяются следующие программы: MATLAB и набор инструментов EEGLAB, пакет *Statistica* и программное обеспечение энцефалографа.

*Результаты.* Разработан комплекс из трех программ, являющихся нейроинтерфейсами (программа для обработки ЭЭГ и две игры, управляемые с ее помощью).

*Заключение.* Впервые в отечественной практике был разработан комплекс программ, предназначенных именно для коррекции развития детей с аутизмом. Основной особенностью настоящего проекта является создание набора из трех программ с различными типами социального взаимодействия для детей в возрасте от четырех до 15 лет с разной степенью проявления РАС. На данный момент ведется работа по апробации методики тренингов и обработке сигналов ЭЭГ, регистрируемых при их проведении, на испытуемых из взрослой возрастной группы.

#### **Библиографические ссылки**

1. *Рамачандран В., Оберман Л.* Разбитые зеркала: теория аутизма // В мире науки. 2007. № 3. С. 30–37.
2. *Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V.* Mirrors in the Mind // Scientific Am. 2006. Vol. 295, no 5. P. 54–61.

3. Friedrich E. V., Sivanathan A., Lim T. et al. An Effective Neurofeedback Intervention to Improve Social Interactions in Children with Autism Spectrum Disorder // J. Autism Dev. Disord. 2015. Vol. 45, no 12. P. 4084–4100.

**Н. В. Сыров**  
**А. А. Мирошников**  
**Л. В. Яковлев**  
**Н. Н. Шушарина**  
**А. Я. Каплан**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова*  
Москва, Россия

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта*  
Калининград, Россия

### **Восприятие ошибок при управлении виртуальной рукой в контуре ИМК на волне П300**

При изучении мозг-машинного взаимодействия важной является проблема восприятия оператором ошибок системы. Возникающие в контуре ИМК ошибки срабатывания могут анализироваться в мозгу не так, как если бы они совершались пользователем естественным образом. Изучение этого аспекта взаимодействия «человек — машина» поможет углубить понимание мозговых механизмов формирования навыка работы в контуре «мозг-компьютер» и создать надежные ИМК, в которых реализован алгоритм оценки мозговых реакций на ошибку и ее коррекции. В настоящей работе было проведено исследование ЭЭГ-коррелятов анализа ошибок в задаче управления виртуальной конечностью при помощи ИМК-П300. Было показано, что ошибки срабатывания ИМК отражаются не только в изменениях вызванных потенциалов ЭЭГ, но и в динамике амплитуды сенсомоторных ритмов. Полученные данные могут быть использованы для построения ИМК-парадигм с обнаружением и предотвращением ошибок на основании ЭЭГ-реакций оператора.

*Ключевые слова:* потенциал ошибки, ИМК, десинхронизация, обратная связь