

ТЕХНОЛОГИИ БИОУПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ КЛИНИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

А.К. ТРОФИМОВА, Д.В. КАЮТИНА, С.А. ИСАЙЧЕВ,
А.М. ЧЕРНОРИЗОВ, Н.А. ВАРАКО

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Представлен обзор современных исследований, посвященных использованию технологий биологической обратной связи (методов биоуправления) в реабилитации больных с нарушениями когнитивных и эмоциональных процессов. Затрагиваются новации современной системы реабилитации больных, а именно: командный подход специалистов, индивидуальный подход к пациенту, использование эффективных методик и подходов. Обосновывается необходимость развития и внедрения в клиническую практику новых методов реабилитации, базирующихся на использовании современных информационных технологий. На сегодняшний день традиционные клинико-психологические реабилитационные процедуры уже не в полной мере соответствуют по своим техническим характеристикам (разнообразию стимульного материала, способы его презентации, способы и варианты сенсibilизации, способы фиксации и обработки результатов) новым вызовам здоровью населения (росту числа заболеваний сосудистого, стрессового генеза и психосоматических расстройств). Раскрывается суть методов биоуправления, описываются виды сигналов обратной связи, протоколы тренингов, основные формы методов биоуправления.

Поднимаются дискуссионные вопросы, связанные с эффективностью использования технологий биологической обратной связи в реабилитации неврологических больных с нарушениями когнитивных функций (внимания, памяти, произвольных движений, восприятия, речи) и в реабилитации больных с тревожными и тревожно-фобическими расстройствами, паническими атаками, реакциями на острый и тяжелый стресс, посттравматическими стрессовыми расстройствами, навязчивыми страхами, т.е. с нарушениями эмоциональной сферы. В финальной части статьи рассматриваются и обсуждаются дискуссионные вопросы и перспективные направления развития технологий биоуправления. Бесспорно, что применение соответствующих процедур значительно расширило арсенал средств для повышения эффективности клинико-психологической реабилитации.

Ключевые слова: нейрореабилитация, биологическая обратная связь, нейротренинг, когнитивные нарушения, эмоциональные расстройства.

В современной реабилитации и реабилитологии как науке, определяющей теоретико-методологические основы реабилитационного процесса, последние десятилетия охарактеризовались бурным ростом и развитием отрасли. Развитие реабилитации и реабилитологии, смена их парадигм и объекта соответствует этапам развития философии науки, которые проходит большинство научных

направлений (Зинченко, 2011; Varako et al., 2016).

Сегодня реабилитация выходит за те привычные рамки, в которых она находилась 40–50 лет назад. Меняется и модель реабилитационной помощи, которая представляет собой не просто набор мероприятий, а аргументированный процесс принятия решений коллективом разных специалистов (мультидисциплинарной реабилитационной бригадой) вместе с пациентом и его ближайшими родственниками и друзьями; планирование программы

помощи, которая обусловлена индивидуальными проблемами и потребностями конкретного пациента; обоснование и выбор в пользу тех или иных методик (в том числе новейших инновационных технологий) и подходов; использование современных приспособлений и технических средств; оценка эффективности вмешательства (Клочкова, 2014).

Становится очевидным, что традиционные психологические диагностические и реабилитационные процедуры уже не в полной мере соответствуют по своим характеристикам (разнообразие стимульного материала, способы его презентации, способы и варианты сенсibilизации, способы фиксации и обработки результатов) современным требованиям к экологической валидности и новым вызовам здоровью населения (рост числа заболеваний сосудистого, стрессового генеза и психосоматических расстройств). В медицине, клинической психологии и психофизиологии доминируют модели, методы и технологии реабилитации больных с нарушениями когнитивных и эмоциональных процессов, разработанные еще в начале и середине XX в. В этой связи актуальным для современной нейрореабилитации является развитие и внедрение в клиническую практику новых методов диагностики и реабилитации, базирующихся на использовании современных информационных технологий – сред виртуальной реальности, техник айтрекинга и нейробиоуправления (Нейродегенеративные заболевания..., 2014; Рамачандран, 2014).

Одним из эффективных инструментальных подходов в современной практике лечения и коррекции психологических и психосоматических заболеваний различного генеза является использование методов биологической обратной связи (БОС). Согласно клиническим данным, наиболее продуктивно использование БОС-терапии в лечении эмоциональных и когнитивных расстройств, индуцируемых хроническим

или сильным эпизодическим стрессом, таких как фобии, постстрессовые тревожные расстройства (ПСТР), головные боли, расстройства сна, синдром хронической усталости. Широко представлены в литературе и экспериментальные исследования, в которых излагаются результаты успешного применения метода БОС при коррекции различных патологий эндосоматического и смешанного генеза – травм мозга, аутизма, синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), нарушений мышечной регуляции, эпи-синдромов, постинсультных нарушений (Walker, 2011; Thatcher, 2000; Strehl et al., 2006; Mayer et al., 2015). По имеющимся в литературе статистическим данным, на развитие и внедрение в практику методов биоуправления за рубежом (США, Европа) в 2009 г. было выделено более 33 миллиардов долларов по сравнению с 27 миллиардами долларов в 1997 г. (прирост на 45,2% с 1990 г.) (Eisenberg et al., 1998; Sitaram et al., 2016).

Статья посвящена обзору наиболее заметных современных достижений реабилитационной практики с использованием БОС-технологий, так как методы биоуправления активно развиваются вот уже более 60 лет.

СУТЬ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ (БИОУПРАВЛЕНИЯ)

Метод БОС был разработан в конце 1950-х гг. в США, где получил быстрое распространение как эффективный инструментальный прием в системе реабилитации. История БОС началась с научных исследований, продемонстрировавших способности животных и человека контролировать биоэлектрические сигналы в режиме реального времени (Хэссет, 1981; Kamiya, 2011).

Согласно определению, сформулированному в структурах «Американской ассоциации прикладной психофизиологии и биологической обратной связи» (The Association for Applied Psychophysiology

and Biofeedback, AARF) и «Американского сертификационного института биологической обратной связи» (The Biofeedback Certification Institute of America), БОС является нефармакологическим методом лечения с использованием специальной аппаратуры для регистрации, усиления и «обратного возврата» пациенту физиологической информации. Основной задачей метода является обучение саморегуляции. Оборудование делает доступной для пациента информацию, в обычных условиях им не воспринимаемую.

Таким образом, суть метода заключается в непрерывном возврате пациенту на экран монитора или в аудио-форме динамики значений параметров физиологических показателей его центральной нервной системы, к которым относят показатели амплитуды, мощности, когерентности основных ритмов ЭЭГ (в англоязычной литературе это направление принято называть *neurofeedback*), или вегетативной нервной системы, к которым относятся такие индикаторы, как кожно-гальваническая реакция (КГР), фотоплетизмограмма (ФПГ), реоэнцефалограмма (РЭГ), дыхание, электромиограмма (ЭМГ), температура, электрокардиограмма (ЭКГ) (данное направление в англоязычной литературе принято называть *biofeedback*).

Методы БОС (*biofeedback*) направлены на обучение человека самоконтролю произвольных телесных процессов с целью исследования, профилактики или реабилитации посредством внешней обратной связи, получаемой с помощью различных физиологических измерений. В ходе процедуры берется конкретный индикатор некоторого физиологического процесса, например, мышечное напряжение или частота сердечных сокращений. Выбранный показатель измеряется, и человеку в режиме реального времени предоставляется обратная связь об уровне его активации по этому показателю. Чаще всего это происходит в виде визуальной инфографики

или звукового сопровождения (сигналов обратной связи) для формирования навыков самостоятельной регуляции физиологических механизмов, лежащих в основе конкретной патологии. Методы нейробиоуправления (НБУ, *neurofeedback*) решают те же задачи, что БОС, но базируются на основе анализа суммарной биоэлектрической активности мозга (электроэнцефалограммы, ЭЭГ).

Обратные связи можно разделить по разным основаниям на несколько видов. Во-первых, можно выделить виды обратных связей в зависимости от ее направленности: внешнюю, которая осуществляется благодаря информации, поступающей от дистантных сенсорных рецепторов (слуховых, зрительных, тактильных), и внутреннюю, осуществляющуюся благодаря информации от проприорецепторов и интерорецепторов. Во-вторых, обратную связь можно разделить по увеличению или уменьшению выходного сигнала при постоянном сигнале на входе. В первом случае она называется положительной, а во втором – отрицательной. Также обратную связь можно разделить в зависимости от временной задержки входного и выходного сигналов. Она может быть срочной, т.е. с минимальной временной задержкой, или отставленной (с некоторой временной задержкой между входным и выходным сигналами).

В качестве методологической базы для физиологического объяснения эффектов БОС наиболее эффективны положения теории функциональных систем П.К. Анохина. Биоуправление можно рассматривать как одну из форм обучения, а обучение – как процесс системогенеза, в ходе которого формируется новая функциональная система, обеспечивающая организацию и исполнение различных поведенческих актов, направленных на получение полезных результатов (Анохин, 1968). С позиций данной теории, благодаря обратным связям происходит интеграция информации

о результатах действия с информацией о параметрах запланированного действия, хранящейся в «блоке принятия решения». На основе этого происходит дальнейшее согласование и закрепление функциональной системы или же, в случае несогласования, запускается переформирование функциональной системы. Данный принцип обратных связей и составляет, по сути, физиологическую основу метода БОС. Применительно к клинической практике выработка необходимых для успешной реабилитации специфических навыков, психологических и физиологических состояний также может рассматриваться как процесс формирования отдельных управляющих или исполнительных звеньев частных подсистем или некоторой подлежащей восстановлению генеральной функциональной системы в целом.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что основной целью метода БОС являются произвольное управление различными физиологическими параметрами и функциями и их изменение в нужном направлении или же, при постоянном мониторинге определенных показателей центральной или вегетативной нервных систем, контроль за осуществлением деятельности в определенном (оптимальном) коридоре психофизиологических состояний.

МЕТОДЫ БОС В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ ВНИМАНИЯ

Место и значимость методов БОС и НБУ в программах комплексной реабилитации остается не до конца определенным. Качественный анализ эмпирического использования нейробиоуправления в междисциплинарной нейрореабилитации может служить первым шагом к его теоретически научно обоснованному применению (Dobrushina, Varako, Kovyazina, 2016; Dobrushina et al., 2016). Однозначного мнения относительно эффективности использования этих технологий в клинико-

психологической реабилитации больных с нарушениями когнитивных и эмоциональных процессов нет. Наиболее выраженные улучшения, связанные с применением БОС, наблюдаются в показателях нейродинамических параметров психической деятельности, эмоциональной регуляции, качества сна, сонливости и шума в ушах, головной боли и боли в теле, мышечного напряжения (Dobrushina, Varako, Kovyazina, 2016; Dobrushina et al., 2016).

Одним из самых часто рассматриваемых когнитивных нарушений, требующих БОС-терапии, является нарушение внимания, в частности, при синдроме дефицита внимания и гиперактивности (Albrecht et al., 2015). СДВГ характеризуется тяжелыми и выходящими за рамки возрастной нормы уровнями гиперактивности, импульсивности и невнимательности. Впервые эффективность биоуправления по сенсомоторному ритму (12–15 Гц) и бета-ритму у детей с СДВГ была продемонстрирована еще в 80-х гг. прошлого века (Lubar, Shouse, 1976).

Однако результаты использования БОС в работе с пациентами с СДВГ неоднозначны. Так, в исследовании детей с СДВГ (Doehner et al., 2008), которые проходили через БОС-тренировки, было показано, что подгруппа участников не научилась контролировать свои ритмы ЭЭГ и не уменьшила свои клинико-психологические симптомы. Аналогичным образом, в исследовании медленных корковых потенциалов с помощью БОС-обучения детей с СДВГ (Drechsler et al., 2007) было обнаружено, что около половины участников не смогли изменить нейронную деятельность своего мозга.

Стоит отметить, что большинство исследований не контролируют неспецифические эффекты реабилитации. Так, в одном из недавних исследований группа ученых из Германии и Швейцарии (Strehl et al., 2017) анализировала эффективность БОС-тренинга с использованием ЭЭГ по сравнению с электромиографической (ЭМГ) обратной связью для контроля не-

специфических эффектов лечения, а также для оценки уровня саморегуляции по параметрам медленных корковых потенциалов. В работе учитывались различные факторы: возраст, пол, тяжесть заболевания и др. Участники были случайным образом распределены по двум подгруппам для проведения 25 сеансов НБУ (подгруппа 1) или же сеансов БОС по активности надкостных мышц (ЭМГ) (подгруппа 2). Дети из обеих групп продемонстрировали снижение симптомов СДВГ, но сеансы НБУ с использованием ЭЭГ были более эффективны, нежели тренировки БОС с ЭМГ. Улучшение саморегуляции активности мозга наблюдалось также только в сеансах НБУ с ЭЭГ. На основе как специфических, так и неспецифических эффектов исследование подтвердило большую целесообразность и эффективность НБУ.

В другом исследовании (Barth et al., 2017) с применением БОС и НБУ в реабилитации пациентов с СДВГ (детей и взрослых) не было получено статистически значимых результатов между изменениями спектра мощности ЭЭГ и ослаблением симптоматики заболевания в результате сеансов БОС. Тем не менее наблюдались явные изменения в поведении участников.

Исследований по применению методов биоуправления в реабилитации пожилых пациентов с нарушениями внимания и других когнитивных функций очень мало, так как ситуация осложняется прогрессирующим характером заболеваний (Jiang et al., 2017). В этих случаях положительный эффект достигается с помощью когнитивных тренировок, терапевтический потенциал которых ограничен (Dobrushina, Varako, Kovyazina, 2016; Dobrushina et al., 2016).

МЕТОДЫ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЯМИ ПАМЯТИ

В исследованиях с применением биоуправления при когнитивных и эмоцио-

нальных нарушениях часто рассматривается и мнестический дефицит, в частности, нарушения «рабочей памяти» (в русскоязычной литературе — «оперативная память») (YuLeung et al., 2016). В некоторых работах засвидетельствовано улучшение рабочей и эпизодической памяти с помощью НБУ-тренингов по показателю альфа-ритма. Важно отметить, что значимость увеличения амплитуды ритма вследствие саморегуляции была прямо пропорциональна выраженности улучшений памяти (Hsueh et al., 2016). В исследованиях, изучающих влияние НБУ-тренировок на объем памяти, в том числе и у пожилых людей, также отмечены позитивные результаты. Но вместо альфа-тренинга для этих целей был использован бета-тренинг по низким частотам (12–15 Гц) (Van Eijk, 2017). Другие исследователи (Escolano et al., 2011) использовали для улучшения рабочей памяти с помощью НБУ-тренинга повышение мощности в верхней полосе альфа-частот (10–12 Гц). В этих экспериментах, продемонстрировавших высокую эффективность НБУ-тренинга, только трое из девяти участников группы не смогли повысить свою верхнюю альфа-частоту после пяти сеансов тренинга.

МЕТОДЫ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЯМИ ДВИЖЕНИЙ

В отличие от внимания и памяти тема борьбы с нарушениями праксиса не очень популярна в исследованиях, проводимых с использованием методов биоуправления. В области реабилитологии двигательной активности БОС чаще всего используется для реабилитации пациентов с параличами и парезами (MacIntosh, Vignais, Biddiss, 2017; Alves-Pinto et al., 2017; Bloom et al., 2010). Что же касается собственно праксиса, то в литературе имеется небольшое число работ, посвященных коррекции бимануальных движений (Kajal et al., 2017).

Бимануальные движения требуют точной временной координации активации мышц с обеих сторон тела и тесного взаимодействия между соответствующими отделами моторной коры и подкорки (Cardoso de Oliveira et al., 2001). Исследователи, изучающие нейрофизиологическую и нейроанатомическую основу бимануальной координации, выявили различные кортикальные и подкорковые области, которые играют критически важную роль в процессах реализации бимануальных действий как у здоровых людей, так и у пациентов с двигательными расстройствами. Взаимодействие между этими областями реализуется в основном с помощью «межполушарных функциональных связей», т.е. фазовой синхронизации активности мозга в разных частотных диапазонах (Banerjee, Jirsa, 2007; Gerloff, Andres, 2002). В качестве метрики функциональной связи были введены корреляции амплитуд, а также параметры, измеряющие степень активности фазовой синхронизации (Akam, Kullmann, 2012; Bastos et al., 2015; Fries, 2005, 2015).

До настоящего времени проводились лишь корреляционные исследования между уровнем функциональной связи и успешностью выполнения задач на бимануальные движения. Двигательные задачи использовались как независимая переменная, а параллельные изменения функциональной связи рассматривались как зависимая переменная. В основном эти исследования свидетельствовали об отрицательной корреляции между характеристиками выполнения моторных задач и прочностью функциональной связи.

Однако корреляция не отражает причинно-следственную связь. Для преодоления этих затруднений Д.С. Кайал с соавт. (Kajal et al., 2017) предложили альтернативный подход. Суть подхода – регуляция силы межполушарной функциональной связи между правой и левой первичной двигательной корой с помощью НБУ по параметрам магнитоэнцефалограммы

(МЭГ). Авторы проверяли гипотезу, согласно которой увеличение функциональной связи ухудшает результаты при выполнении задачи по постукиванию пальцами двумя руками, требующей несимметричных бимануальных движений. Исследование проводилось на здоровых людях, которые обучались саморегуляции функциональной связи с использованием НБУ по МЭГ в режиме реального времени. Эффекты от обучения оценивались путем сравнения двигательных характеристик перед и после каждого тренинга. Для учета неспецифических эффектов респондентам одной из групп демонстрировалась ложная обратная связь. В данной группе никаких изменений до и после тренировки не наблюдалось. Напротив, группа, получающая реальную обратную связь, имела результат в виде снижения скорости постукивания при более сильной межполушарной функциональной связи. Результаты указывают на причинно-следственную связь между межполушарной функциональной связью и успешностью выполнения бимануальных задач. Полученный результат может быть использован в клинической практике.

Отдельного рассмотрения заслуживают исследования с идеомоторными тренировками, включающими сеансы НБУ, которые предложены как перспективный вариант для восстановления движений после инсульта, в частности, в работе с гемипарезами. Данные свидетельствуют о том, что регулярные НБУ-тренировки влияют на пластичность мозга и улучшают компенсацию двигательных нарушений. Однако частые тренировки трудны для повседневной жизни пациента. Используя беспроводную систему регистрации электроэнцефалограммы, К. Зик и соавт. разработали эффективный НБУ-тренинг для использования в домашних условиях, который базировался на системе обратной связи, учитывающей степень активации контралатеральной сенсомоторной коры и степень латерализации функций сенсо-

моторной коры. Трое пациентов с инсультами проходили ежедневную тренировку в течение четырех недель. Изменения, связанные с обучением, были оценены на поведенческом, функциональном и структурном уровнях. Все пациенты отметили, что они «наслаждались» обучением и были очень мотивированы на протяжении всего тренировочного периода. Активность ЭЭГ, полученная вследствие идеомоторной тренировки пораженной руки, стала более латеральной у всех трех пациентов. Пациент со значительным функциональным изменением также продемонстрировал динамику в виде повышенной целостности в проводящих путях белого вещества и существенное улучшение двигательных функций верхних конечностей. Исследование показывает, что регулярная домашняя практика идеомоторных тренировок с использованием НБУ-тренингов может способствовать реорганизации двигательной коры и улучшению двигательной функции верхних конечностей у пациентов, перенесших инсульт (Zich et al., 2017).

МЕТОДЫ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЯМИ ВОСПРИЯТИЯ

Данное направление исследований с использованием методов биоуправления является относительно новым. Наиболее удачными являются исследования по восприятию боли у пациентов психосоматической клиники (Daenen et al., 2014). Особый интерес представляют попытки использования НБУ-тренинга по ЭЭГ в качестве инструмента для реабилитации постинсультных больных с неглектом (односторонним зрительно-пространственным игнорированием) (Appelros et al., 2002). Так, Т. Рос и соавт. (Ros et al., 2017) исследовали показатели альфа-ритмов у пациентов со зрительно-пространственным игнорированием после правополушарного инсульта. Пациенты тренировались уменьшать

альфа-колебания в зоне правой задне-теменной коры. Тренировки проходили ежедневно и длились по 20 мин. Пациенты продемонстрировали способность к формированию устойчивого навыка саморегуляции альфа-колебаний. В результате была обнаружена значительная отрицательная корреляция между успешностью выполнения заданий на диагностику одностороннего зрительно-пространственного игнорирования и восстановлением динамического диапазона спонтанного альфа-ритма (т.е. изменчивости амплитуды ритма). Результаты данной работы подтверждают, что использование методов биоуправления является многообещающей процедурой для реабилитации больных с неглектом и одновременно инструментом для исследования нейропластичности мозга после инсульта.

МЕТОДЫ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЯМИ РЕЧИ

В настоящее время методы БОС и НБУ редко используются в реабилитации больных с нарушениями речи. Единственными полноценными исследованиями являются работы с людьми, страдающими дислексией (нарушениями чтения). После проведения НБУ-процедур у детей-дислексиков отмечаются значительные улучшения в орфографии, но при этом положительных изменений в чтении не обнаруживается. Подробное исследование изменений в спектрах мощности и показателях когерентности ЭЭГ также не подтверждает наличие каких-либо трансформаций активности в лобных областях мозга, что согласуется с отсутствием улучшений чтения. Однако обнаруживается значительное увеличение когерентности суммарной активности мозга в диапазоне альфа-частот, что может свидетельствовать об улучшении процессов внимания, которые могут объяснять улучшения в орфографии (Breteler et al., 2010).

ТЕХНОЛОГИИ БИОУПРАВЛЕНИЯ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ: ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Несмотря на большой эмпирический опыт, к настоящему времени нет однозначного мнения относительно эффективности использования методов биоуправления в реабилитации больных с когнитивными и эмоциональными нарушениями. Противоречивость мнений объясняется стереотипностью БОС- и НБУ-протоколов тренингов и отсутствием учета индивидуальных особенностей пациента (Bazanova, Aftanas, 2010), что и приводит порой к взаимоисключающим результатам исследований (Bauer et al., 1976; Nan et al., 2012). О. Алкоби и соавт. (Alkoby et al., 2017) предложили в своей работе набор процедур по индивидуализации БОС-протоколов. Например, они предложили проведение предварительного теста для анализа состояния «параметров мозга», с помощью которого можно было бы предсказать получение выгоды участником или пациентом от конкретного протокола БОС. Нейропсихолог в данном случае может оказать огромную помощь, проведя индивидуальную диагностику состояния высших психических функций. Кроме того, необходима адаптация формы обратной связи и ее уровня сложности для каждого человека, что, безусловно, повысит мотивацию и, таким образом, улучшит общий успех БОС-тренировок. В типичной процедуре биоуправления существуют различные виды подкрепления, которые используются в качестве обратной связи. Одни протоколы используют для обучения визуальную обратную связь, другие – звуковые сигналы. Доказано, что некоторые варианты подкрепления являются более результативными, чем другие. Так, К.А. Матиак с соавт. (Mathiak et al., 2015) проверяли влияние использования «социальной» (контекстной) обратной связи

на способность контролировать активность мозга. Во время тренировки БОС по фМРТ было показано, что обратная связь социального типа (улыбающийся аватар) по сравнению со стандартной обратной связью (движущаяся линия) вызывала повышенную активность в передней части коры головного мозга и областях, связанных с поощрением. Кроме того, исследователи показали, что использование социальной обратной связи по сравнению со стандартной обратной связью улучшает способность участников контролировать активность мозга. Таким образом, учет различий во влиянии разнообразных типов подкрепления на мотивацию и настроение человека, а также использование моделей обратной связи, которые учитывают индивидуальные особенности пациента (например, тип обратной связи, соответствующий возрасту), могут существенно повысить эффективность процедур саморегуляции.

Еще одно перспективное направление совершенствования техник биоуправления – использование виртуальных стимульных сред. Так, А.М. Бергер и Э.Дж. Давелаар (Berger, Davelaar, 2017) сравнивали эффективности НБУ-тренировок в 2D- и 3D-средах при нарушениях внимания. Было показано, что обучение в 3D-средах (по показателю мощности альфа-ритма) проходит значительно эффективнее.

Перспективными для клинической практики представляются новые варианты процедур биоуправления с использованием в качестве сигналов обратной связи параметров МЭГ, фМРТ (Sherwood et al., 2017) или же комбинации индексов ЭЭГ и фМРТ. Л. Перронет с соавт. (Pertronnet et al., 2017) предложили новый вариант визуализации обратной связи для «бимодальной» системы биоуправления, которая объединяет ЭЭГ-сигналы и сигналы фМРТ в одном двумерном показателе обратной связи (перемещение шара по двумерной плоскости). Такая обратная связь предназначена

для облегчения когнитивной нагрузки субъекта, представляя задачу бимодальной БОС как одну задачу регулирования вместо двух мономодальных (отдельно по ЭЭГ и отдельно по фМРТ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дискуссия о роли методов биоуправления в реабилитации и коррекции когнитивных и эмоциональных нарушений продолжается вот уже более 30 лет (Хэссет, 1981). Основные лакуны в этой области связаны с недостаточной изученностью механизмов влияния процедур биоуправления на мозг и отсутствием однозначных ответов на вопрос о результативности БОС- и НБУ-тренингов, требующих проведения в должном объеме экспериментов с помощью двойного слепого метода.

Применение процедур БОС и НБУ значительно расширило арсенал средств для повышения эффективности клинико-психологической диагностики и реабилитации. Однако эти технологии применяются в реабилитационной практике бессистемно, т.е. вне связи с другими техниками нейро- и психореабилитации. Основная причина такого положения дел — отсутствие современного научно обоснованного методического подхода к процедурам диагностики и реабилитации и базирующихся на основе такого подхода методов, интегрирующих современные технологические разработки в единое согласованное целое.

Перед фундаментальной и практико-ориентированной клинической психологией и психофизиологией встает актуальная проблема по организации междисциплинарных исследований, посвященных системно организованной и научно обоснованной адаптации новых информационных технологий БОС и НБУ к нуждам современной клинической практики по поддержанию психического здоровья нации. Наиболее существенными

и важными задачами подобных исследований являются:

1) изучение психофизиологических систем и механизмов, реализующих модификацию тренируемых в процессе биоуправления функций, навыков и отдельных профессионально важных качеств;

2) поиск комплекса качественных и количественных показателей, позволяющих дать объективную оценку успешности прохождения тренинга или коррекционного курса;

3) создание новых методик, повышающих эффективность техник биоуправления и сокращающих период тренингов;

4) включение методов биоуправления в системно организованный цикл реабилитационных процедур.

Разработка теоретических, методологических и практико-ориентированных подходов к использованию методов биоуправления в процедурах нейрореабилитации является актуальной самостоятельной научной задачей, решение которой предполагает как разработку теоретических моделей процессов саморегуляции, так и проведение междисциплинарных экспериментальных исследований по их верификации.

1. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 1968. 546 с.
2. Зинченко Ю.П. Методологические проблемы фундаментальных и прикладных психологических исследований // Национальный психол. журн. 2011. № 1 (5). С. 42–49.
3. Ключкова Е.В. Введение в физическую терапию: реабилитация детей с церебральным параличом и другими двигательными нарушениями неврологической природы. М.: Теревинф, 2014. 288 с.
4. Нейродегенеративные заболевания: от генома до целостного организма: В 2 т. / Под ред. М.В. Угрюмова. Т. 1. М.: Научный мир, 2014. 580 с.
5. Рамачандран В.С. Мозг рассказывает. Что делает нас людьми / Под ред К. Шипковой. М.: Карьера Пресс, 2012. 422 с.
6. Хэссет Дж. Введение в психофизиологию. М.: Мир, 1981. 246 с.
7. Akam T.E., Kullmann D.M. Efficient «communication through coherence» requires oscillations

- structured to minimize interference between signals // PLOS Computational Biol. 2012. V. 8. N 11. e1002760.
8. *Albrecht B.* et al. Pathophysiology of ADHD and associated problems-starting points for NF interventions? / Albrecht B., Uebel-von Sandersleben H., Gevensleben H., Rothenberger A. // *Frontiers in Human Neurosci.* 2015. V. 9. Article 359.
 9. *Alkoby O.* et al. Can we predict who will respond to neurofeedback? A review of the inefficacy problem and existing predictors for successful EEG neurofeedback learning / Alkoby O., Abu-Rmileh A., Shriki O., Todder D. // *Neurosci.* 2017. pii: S0306-4522(16)30757-6.
 10. *Alves-Pinto A.* et al. Implicit learning of a finger motor sequence by patients with cerebral palsy after neurofeedback / Alves-Pinto A., Turova V., Blumenstein T., Hantuschke C., Lampe R. // *Appl. Psychophysiol. and Biofeedback.* 2017. V. 42. N 1. P. 27–37.
 11. *Appelros P.* et al. Neglect and anosognosia after first-ever stroke: incidence and relationship to disability / Appelros P., Karlsson G. M., Seiger A., Nydevik I. // *J. Rehabilitation Med.* 2002. V. 34. N 5. P. 215–220.
 12. *Banerjee A., Jirsa V.K.* How do neural connectivity and time delays influence bimanual coordination? // *Biol. Cybernetics.* 2007. V. 96. N 2. P. 265–278.
 13. *Barth B.* et al. EMG biofeedback training in adult attention-deficit/hyperactivity disorder: an active (control) training? / Barth B., Mayer K., Strehl U., Fallgatter A.J., Ehlis A.C. // *Behav. Brain Res.* 2017. V. 329. P. 58–66.
 14. *Bastos A.M., Vezoli J., Fries P.* Communication through coherence with inter-areal delays // *Current Opinion in Neurobiol.* 2015. V. 31. P. 173–180.
 15. *Bauer R.H.* Short-term memory: EEG alpha correlates and the effect of increased alpha // *Behav. Biol.* 1976. V. 17. N 4. P. 425–433.
 16. *Bazanova O.M., Aftanas L.I.* Individual EEG alpha activity analysis for enhancement neurofeedback efficiency: two case studies // *J. Neurotherapy.* 2010. V. 14. N 3. P. 244–253.
 17. *Berger A.M., Davelaar E.J.* Frontal alpha oscillations and attentional control: A virtual reality neurofeedback study // *Neurosci.* 2017. pii: S0306-4522(17)30405-0.
 18. *Bloom R., Przekop A., Sanger T.D.* Prolonged electromyogram biofeedback improves upper extremity function in children with cerebral palsy // *J. Child Neurol.* 2010. V. 25. N 12. P. 1480–1484.
 19. *Breteler M.H.* et al. Improvements in spelling after QEEG-based neurofeedback in dyslexia: A randomized controlled treatment study / Breteler M.H., Arns M., Peters S., Giepman I., Verhoeven L. // *Applied Psychophysiol. and Biofeedback.* 2010. V. 35. N 1. P. 5–11.
 20. *Cardoso de Oliveira S.* et al. Neural interactions between motor cortical hemispheres during bimanual and unimanual arm movements / Cardoso de Oliveira S., Gribova A., Donchin O., Bergman H., Vaadia E. // *Eur. J. of Neurosci.* 2001. V. 14. P. 1881–1896.
 21. *Daenen L.* et al. Changes in pain modulation occur soon after whiplash trauma but are not related to altered perception of distorted visual feedback / Daenen L., Nijs J., Cras P., Wouters K., Roussel N. // *Pain Practice.* 2014. V. 14. N 7. P. 588–598.
 22. *Dobrushina O.R., Varako N.A., Kovyazina M.S.* Integration of neurofeedback into holistic model of neurorehabilitation // *J. of the Intern. Neuropsychol. Society.* 2016. V. 22. P. s2.
 23. *Dobrushina O.R.* et al. Combination of neurofeedback and cognitive training in attention deficit due to multiple sclerosis / Dobrushina O.R., Varako N.A., Kovyazina M.S., Zinchenko Y.P. // *Intern. J. Psychophysiol.* 2016. V. 108. P. 118.
 24. *Doehner M.* et al. Slow cortical potential neurofeedback in attention deficit hyperactivity disorder: is there neurophysiological evidence for specific effects? / Doehner M., Brandeis D., Straub M., Steinhausen H.C., Drechsler R. // *J. Neural Transmission.* 2008. V. 115. N 10. P. 1445–1456.
 25. *Drechsler R.* et al. Controlled evaluation of a neurofeedback training of slow cortical potentials in children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) / Drechsler R., Straub M., Doehner M., Heinrich H., Steinhausen H.C., Brandeis D. // *Behav. and Brain Functions.* 2007. V. 3. Article 35.
 26. *Eisenberg D.M.* et al. Trends in alternative medicine use in the United States, 1990–1997: Results of a follow-up national survey / Eisenberg D.M., Davis R.B., Ettner S.L., Appel S., Wilkey S., Van Rompay M., Kessler R.C. // *JAMA.* 1998. V. 280. N 18. P. 1569–1575.
 27. *Escolano C., Aguilar M., Minguez J.* EEG-based upper alpha neurofeedback training improves working memory performance // 33rd Annual Intern. Conf. of the IEEE EMBS. Boston, Massachusetts USA, August 30–September 3, 2011. P. 2327–2330.
 28. *Fries P.* A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence // *Trends in Cognit. Sci.* 2005. V. 9. N 10. P. 474–480.
 29. *Fries P.* Rhythms for cognition: communication through coherence // *Neurons.* 2015. V. 88. N 1. P. 220–235.
 30. *Gerloff C., Andres F.G.* Bimanual coordination and interhemispheric interaction // *Acta Psychologica.* 2002. V. 110. N 2–3. P. 161–186.
 31. *Hsueh J.J.* et al. Neurofeedback training of EEG alpha rhythm enhances episodic and working memory / Hsueh J.J., Chen T.S., Chen J.J., Shaw F.Z. // *Hum. Brain Mapping.* 2016. V. 37. N 7. P. 2662–2675.

32. *Jiang Y., Abiri R., Zhao X.* Tuning up the old brain with new tricks: attention training via neurofeedback // *Frontiers in Aging Neurosci.* 2017. V. 9. Article 52.
33. *Kajal D.S.* et al. Learned control of inter-hemispheric connectivity: Effects on bimanual motor performance / *Kajal D.S., Braun C., Mellinger J., Sacchet M.D., Ruiz S., Fetz E., Birbaumer N., Sitaram R.* // *Human Brain Mapping.* 2017. V.38. N.9. P.4353–4369.
34. *Kamiya J.* The first communications about operant conditioning of the EEG // *J. Neurotherapy.* 2011. V. 15. N 1. P. 65–73
35. *Lubar J.F., Shouse M.N.* EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report // *Biofeedback and Self-regulation.* 1976. V. 1. N 3. P. 293–306.
36. *MacIntosh A., Vignais N., Biddiss E.* Biofeedback interventions for people with cerebral palsy: a systematic review protocol // *Systematic Rev.* 2017. V.6. N 1. Article 3.
37. *Mathiak K.A.* et al. Social reward improves the voluntary control over localized brain activity in fMRI-based neurofeedback training / *Mathiak K.A., Alawi E.M., Koush Y., Dyck M., Cordes J.S., Gaber T.J., Zepf F.D., Palomero-Gallagher N., Sarkheil P., Bergert S., Zvyagintsev M., Mathiak K.* // *Frontiers in Behavioral Neurosci.* 2015. V. 3. N 9. Article 136.
38. *Mayer K.* et al. Neurofeedback as a nonpharmacological treatment for adults with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Study protocol for a randomized controlled trial / *Mayer K., Wyckoff S.N., Fallgatter A.J., Ehls A.C., Strehl U.* // *Trials.* 2015. V. 16. P. 174.
39. *Nan W.* et al. Individual alpha neurofeedback training effect on short term memory / *Nan W., Rodrigues J.P., Ma J., Qu X., Wan F., Mak P.I., Rosa A.* // *Intern. J. Psychophysiol.* 2012. V. 86. N 1. P. 83–87.
40. *Perronnet L.* et al. Unimodal versus bimodal EEG-fMRI neurofeedback of a motor imagery task / *Perronnet L., Lécuyer A., Mano M., Bannier E., Lotte F., Clerc M., Barillot C.* // *Frontiers in Human Neurosci.* 2017. V. 11. Article 193.
41. *Ros T.* et al. Increased alpha-rhythm dynamic range promotes recovery from visuospatial neglect: a neurofeedback study / *Ros T., Michela A., Bellman A., Vuadens P., Saj A., Vuilleumier P.* // *Neural Plasticity.* 2017. V. 2017. Article ID 7407241. P. 9.
42. *Sherwood M.S.* et al. A protocol for the administration of real-time fMRI neurofeedback training / *Sherwood M.S., Diller E.E., Ey E., Ganapathy S., Nelson J.T., Parker J.G.* // *J. Visualized Experiments.* 2017. V. 126. e55543.
43. *Sitaram R.* et al. Closed-loop brain training: the science of neurofeedback / *Sitaram R., Ros T., Stoeckel L., Haller S., Scharnowski F., Lewis-Peacock J., Weiskopf N., Blefari M.L., Rana M., Oblak E., Birbaumer N., Sulzer J.* // *Nature Neurosci. Rev.* 2017. V.18. N 2. P.86–100.
44. *Strehl U.* et al. Neurofeedback of slow cortical potentials in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: A multicenter randomized trial controlling for unspecific effects / *Strehl U., Aegensteiner P., Wachtlin D., Brandeis D., Albrecht B., Arana M., Bach C., Banaschewski T., Bogen T., Flaig-Röhr A., Freitag C.M., Fuchsenberger Y., Gest S., Gevensleben H., Herde L., Hohmann S., Legenbauer T., Marx A., Millenet S., Pniewski B., Rothenberger A., Ruckes C., Wörz S., Holtmann M.* // *Frontiers in Human Neurosci.* 2017. V. 11. Article 135.
45. *Strehl U.* et al. Self-regulation of slow cortical potentials: a new treatment for children with attention-deficit/hyperactivity disorder / *Strehl U., Leins U., Goth G., Klinger C., Hinterberger T., Birbaumer N.* // *Pediatrics.* 2006. V. 118. N 5. P. 1530–1540.
46. *Thatcher R.W.* EEG operant conditioning (biofeedback) and traumatic brain injury // *Clinical Electroencephalography.* 2000. V. 31. N 1. P. 38–44.
47. *Varako N.* et al. Interdisciplinary rehabilitation of a patient with right brain injury and recurrent depression / *Varako N., Dobrushina O., Zinchenko Y., Martynov S., Kovyazina M.* // *Eur. Psychiatry.* 2016. V. 33. P. S243.
48. *Van Eijk L.* et al. EEG-neurofeedback training and quality of life of institutionalized elderly women (a pilot study) / *Van Eijk L., Zwijsen S.A., Keeser D., Oosterman J.M., Pogarell O., Engelbregt H.J.* // *Advances in Gerontol.* 2017. V. 30. N 2. P. 248–254.
49. *Walker J.E.* QEEG-guided neurofeedback for recurrent migraine headaches // *Clinical EEG and Neurosci.* 2011. V. 42. N 1. P. 59–61.
50. *YuLeung T.E.* et al. Working memory and neurofeedback / *YuLeung T.E., Abbott K., Foster D.S., Helmer D.* // *Appl. Neuropsychol: Child.* 2016. V. 5. N 3. P. 214–222.
51. *Zich C.* et al. High-intensity chronic stroke motor imagery neurofeedback training at home: Three case reports / *Zich C., Debener S., Schweinitz C., Sterr A., Meekes J., Kranczioch C.* // *Clinical EEG and Neurosci.* 2017. V. 48 N 6. P. 403–412.

References in Russian:

1. *Anokhin P.K.* Биология и нейрофизиология условного рефлекса [Biology and neurophysiology of conditional reflex]. М.: Медицина, 1968. 546 с.

2. *Zinchenko Yu.P.* Metodologicheskie problemy fundamental'nyh i prikladnyh psihologicheskikh issledovanij [Methodological problems of fundamental and applied psychological research] // Nacional'nyj psihologicheskij zhurnal. 2011. N 1 (5). S. 42–49.
3. *Klochkova E.V.* Vvedenie v fizicheskuyu terapiyu: rehabilitaciya detej s cerebral'nym paralichom i drugimi dvigatel'nymi narusheniyami nevrologicheskoy prirody [Introduction to physical therapy: rehabilitation of children with cerebral palsy and other motor disorders of neurological nature]. М.: Terevinf, 2014. 288 s.
4. Nejrodegenerativnye zabolovaniya: ot genoma do celostnogo organizma [Neurodegenerative diseases: from the genome to the whole organism]: V 2 t. T 1 / Pod red. M.V. Ugryumova. М.: Nauchnyj mir, 2014. 580 s.
5. *Ramachandran V.S.* Mozg rasskazyvaet. Chto delaet nas lyud'mi [The brain tells. What makes us human] / Pod red. K. Shipkovej. М.: Kar'era Press, 2012. 422 s.
6. *Hehsset Dzh.* Vvedenie v psihofiziologiyu [Introduction to Psychophysiology] // М.: Mir, 1981. 246 s.

Поступила в редакцию 5. XI 2017 г.