

# ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРФЕЙС МОЗГ–КОМПЬЮТЕР» И НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ (ОБЗОР)

DOI: 10.17691/stm2017.9.1.22

УДК 611.81:681.5:796.4:61–073.78

Поступила 4.10.2016 г.

© **А.И. Федотчев**, д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории механизмов рецепции<sup>1</sup>;  
**С.Б. Парин**, д.б.н., зав. лабораторией психофизиологии<sup>2</sup>;  
**С.А. Полевая**, д.б.н., зав. кафедрой психофизиологии<sup>2</sup>; зав. отделом нейрофизиологии и экспериментального моделирования ЦНИЛ<sup>3</sup>;  
**С.Д. Великова**, д.б.н., научный консультант отдела нейрофизиологии и экспериментального моделирования ЦНИЛ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Московская область, 142290, ул. Институтская, 3;<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, 603950, пр. Гагарина, 23;<sup>3</sup>Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, 603005, пл. Минина и Пожарского, 10/1

Технологии «интерфейс мозг–компьютер» и нейробиоуправление являются уникальными методами модуляции активности мозга на основе оперантного облучения. С момента возникновения в 60-х гг. XX в. эти технологии стали лечебным инструментом для множества психических и неврологических расстройств. Однако до сих пор их эффективность остается предметом споров. В нашем обзоре рассмотрены история возникновения, особенности и современное состояние этих технологий. Основное внимание уделено анализу возможностей и перспектив использования данных технологий в клинической медицине для мобилизации механизмов пластичности нейронных сетей мозга. Представлены результаты собственных исследований в этом направлении. Показано, что будущее технологий «интерфейс мозг–компьютер» и нейробиоуправления зависит от многопрофильного сотрудничества неврологов, нейробиологов, инженеров и математиков. Эффективное объединение различных областей науки позволит разработать новые терапевтические режимы для восстановления и улучшения нервных, познавательных и поведенческих функций.

**Ключевые слова:** биоэлектрическое управление; интерфейс мозг–компьютер; нейробиоуправление; электроэнцефалограмма; ЭЭГ.

**Как цитировать:** Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Velikova S.D. Brain–computer interface and neurofeedback technologies: current state, problems and clinical prospects (review). *Sovremennyye tehnologii v medicine* 2017; 9(1): 175–184, <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.1.22>

## English

## Brain–Computer Interface and Neurofeedback Technologies: Current State, Problems and Clinical Prospects (Review)

**A.I. Fedotchev**, DSc, Leading Researcher, Laboratory of Reception Mechanisms<sup>1</sup>;  
**S.B. Parin**, DSc, Head of the Laboratory of Psychophysiology<sup>2</sup>;  
**S.A. Polevaya**, DSc, Head of the Department of Psychophysiology<sup>2</sup>; Head of the Department of Neurophysiology and Experimental Modelling, Central Scientific Research Laboratory<sup>3</sup>;  
**S.D. Velikova**, DSc, Scientific Consultant, Department of Neurophysiology and Experimental Modelling, Central Scientific Research Laboratory<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, 3 Institutskaya St., Pushchino, Moscow Region, 142290, Russian Federation;<sup>2</sup>Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 23 Prospekt Gagarina, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation;

**Для контактов:** Федотчев Александр Иванович, e-mail: [fedotchev@mail.ru](mailto:fedotchev@mail.ru)

<sup>3</sup>Nizhny Novgorod State Medical Academy, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

Brain-computer interface and neurofeedback technologies are unique techniques to modulate brain activity based on an operant conditioning. From the time these technologies appeared in the 60-ies of the XX c., they have become non-drug tools for numerous psychiatric and neurologic disorders. However, up to now their efficiency is a matter of debate. Our review considers the background, characteristic features and current state of the technologies. The emphasis was made on the analysis of capabilities and prospects of the technologies in clinical medicine to mobilize the plasticity mechanisms of brain neural network. The review presents the findings of our own experiments showing the future of brain-computer interface and neurofeedback technologies to depend on multi-type cooperation of neurologists, neurobiologists, engineers and mathematicians. Effective consolidation of several fields of science will enable to develop novel therapeutic regimens to restore and improve neural, cognitive and behavioral functions.

**Key words:** bioelectric control; brain-computer interface; neurofeedback; electroencephalogram; EEG.

Во второй половине прошлого столетия нейрофизиологами сделано выдающееся открытие. Было установлено, что функции организма, считавшиеся ранее произвольными и не поддающимися саморегуляции, могут при определенных условиях управляться человеком. Главным условием является то, чтобы человек посредством различных технических средств получал сигналы обратной связи о текущем состоянии своего организма. В результате этого открытия независимо сформировались две линии исследований, основанных на использовании сигналов обратной связи от биопотенциалов мозга человека для регуляции его функций.

Первая линия сформировалась на основе методологии биоэлектрического управления и связана с созданием компьютерных информационно-управляющих систем, которые опосредуют связь между мозгом и различными технологическими устройствами. Эти технологии получили название «интерфейс мозг–компьютер» (ИМК). Они позволяют человеку управлять компьютером и другими техническими устройствами при помощи сигналов мозга, регистрируемых на поверхности головы в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ), т.е. минуя передачу информации по нервам и мышцам [1].

Вторая линия базируется на теории И.П. Павлова об условных рефлексах и ее развитии в работах по оперантному обусловливанию ЭЭГ человека [2]. Благодаря этим исследованиям, продемонстрировавшим возможность произвольной перестройки и переобучения паттернов мозговых волн с использованием принципов обусловливания, сформировалась технология биоуправления с обратной связью по ЭЭГ, или технология нейробиоуправления — НБУ [3].

Обе технологии имеют как общие черты, так и отличия. Наличие общих свойств позволило ряду авторов либо рассматривать их совместно [4], либо считать технологию НБУ одним из самых ранних применений технологии ИМК [5] или ее частным случаем, цель которого — не управлять внешним устройством, а использовать внешнюю обратную связь для модулирования конкретных аспектов физиологического сигнала собственного головного мозга [6]. Основное различие двух подходов состоит в соотношении автоматической

и контролируемой обработки сигналов обратной связи от биопотенциалов мозга. Если в технологии ИМК эти сигналы не требуют осознания, автоматически управляя исполнительными устройствами или модулируя параметры внешних воздействий, то в технологии НБУ биопотенциалы мозга преобразуются в информационные сигналы обратной связи для обучения человека осознанной произвольной регуляции собственных функций.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к исследованиям в обеих направлениях. Это проявилось прежде всего в большом количестве недавних аналитических обзоров по различным аспектам нейроинтерфейсов [7–21]. Кроме того, за последние 5 лет произошло 2–3-кратное увеличение количества публикаций по ИМК и НБУ в базе данных научной медицинской периодики Pubmed. Такой экспоненциальный рост исследований разные авторы связывают с неэффективностью традиционных методов фармакологического лечения [22–26], с более полным пониманием механизмов пластичности мозга и растущей неудовлетворенностью текущими реабилитационными методами [27–29], а также с бурным ростом вычислительных мощностей, робототехники, методов записи сигналов мозга и математических алгоритмов для их декодирования [30].

Обилие недавних публикаций по данной проблеме и большое разнообразие используемых методических приемов затрудняют общую оценку состояния этой области знаний и выделение подходов, в наибольшей степени пригодных для клинической медицины. В представленном обзоре обобщены данные литературы последних пяти лет о сущности, особенностях и современном состоянии технологий ИМК и НБУ. Основное внимание уделено рассмотрению возможностей и перспектив использования этих технологий в медицине. Представлены результаты собственных исследований авторов в этом направлении.

## Интерфейс мозг–компьютер

Интерфейс мозг–компьютер представляет собой компьютерную информационно-управляющую систе-

му, которая регистрирует мозговые сигналы, анализирует их и переводит в команды, поступающие на выходные технические устройства для осуществления желаемого действия. Согласно формальному определению, ИМК — это система, измеряющая активность мозга и преобразующая ее в искусственный выходной сигнал, который заменяет, восстанавливает, усиливает, дополняет, информирует или улучшает естественный выходной сигнал и таким образом изменяет текущие взаимодействия мозга с внешней или внутренней средой [31].

Началом развития технологии ИМК считается 1973 г., когда был предложен термин «brain-computer interface» и изложен план экспериментальных исследований по взаимодействию человеческого мозга с компьютером [32]. Однако есть все основания утверждать, что основой данного направления послужила методология биоэлектрического управления, которая сформировалась в 50–60-е годы прошлого столетия и активно развивается в наши дни. Она предполагает использование биоэлектрических потенциалов, генерируемых тканями или органами человека, для автоматического управления различными внешними устройствами [33]. Ярким примером данного направления является пионерская работа Н.П. Бехтеревой, показавшая, что ритмическая световая стимуляция, автоматически управляемая электрическими сигналами мозга пациента, приводит к росту представленности альфа-ритма ЭЭГ и является более эффективным видом функциональной нагрузки, чем обычные виды фотостимуляции [34]. Впоследствии разные варианты данного приема были использованы в терапевтических целях в ряде зарубежных исследований, где он получил названия «EEG-driven photic stimulation» или «alpha power dependent light stimulation» [35–37].

Главная цель технологий ИМК заключается в замене или восстановлении полезных функций для людей, неспособных их выполнять из-за нервно-мышечных расстройств, таких как амиотрофический склероз, церебральный паралич, инсульт или повреждение спинного мозга [38–41].

Интерфейс мозг–компьютер является одной из самых многообещающих технологий в области лечения неврологических заболеваний и травм. Эта технология позволяет установить связь между неповрежденными участками мозга и вспомогательными устройствами, которые способны компенсировать моторные и сенсорные функции. Например, пациенты, парализованные из-за перелома позвоночника, смогут восстановить подвижность, используя ИМК, который соединяет нейронные структуры моторной коры с роботизированными руками, экзоскелетами или нейроморфными электрогенераторами [42]. Более того, сенсорные ИМК могут служить средством восстановления чувствительности парализованных участков тела путем передачи соматосенсорных ощущений прикосновения, температуры, боли и вибрации у этих

пациентов [43]. Определенные успехи в разработке таких ИМК уже достигнуты [44, 45], в том числе и в России [46–50].

Наряду с нейротренажерами, нацеленными главным образом на восстановление двигательной функции, достойное место в реабилитационной медицине занимают ИМК, обладающие вспомогательной функцией. Они позволяют пациентам волевыми усилиями осуществлять набор текстов на экране монитора, нажимать виртуальные кнопки включения/выключения доступных им для самообслуживания устройств, приводов больничной кровати и др. Совокупность подобных ассистирующих пациенту систем ИМК можно назвать нейрокоммуникаторами, так как они по своей сути помогают человеку без мышечных движений выбирать на экране компьютера те или иные символы для набора текста или команд [51, 52].

## Нейробиоуправление

Нейробиоуправление представляет собой компьютерные информационно-управляющие системы, дающие возможность модификации биопотенциалов головного мозга при активном участии самого больного. Для этого текущая амплитуда того или иного ЭЭГ-ритма с помощью различных компьютерных средств отражается в параметрах световых и/или звуковых сигналов обратной связи, предъявляемых пациенту с целью его обучения сознательному контролю выраженности собственных ритмических компонентов ЭЭГ для достижения требуемых лечебных эффектов. Если человек может в режиме реального времени видеть или слышать адекватное отражение собственных биопотенциалов, он получает возможность постепенно обучиться изменять их в нужном направлении. Сначала достигнутые эффекты кратковременны, но в процессе тренировки у большинства людей этот навык закрепляется. Таким образом, НБУ предоставляет дополнительные возможности для нелекарственной реабилитации самых разных мозговых патологий [53].

В общем случае система НБУ состоит из пяти элементов или шагов обработки: получение сигнала мозга, его предварительная обработка, выделение ключевых признаков, генерирование сигнала обратной связи и адаптивное обучение. После записи ЭЭГ данные подвергаются предварительной обработке (например, обнаружению, удалению или исправлению артефактов), генерации и выделению признаков, вычислению и представлению сигнала обратной связи. Последний шаг замыкает контур обратной связи, где участник пытается научиться использовать сигнал обратной связи для изменения активности мозга в соответствии с инструкциями. Все необходимые шаги осуществляются в режиме реального времени. Выделенные признаки, как правило, количественно отражают уровень деятельности определенного участка мозга или сети, а сигнал обратной связи передает информацию о соответствующих изменениях в состо-

янии мозга. Участники должны найти и адаптировать стратегии, чтобы целенаправленно изменять состояние мозга в соответствии с предварительными инструкциями [5].

Исходным этапом в становлении технологии НБУ явилась серия исследований, выполненная J. Kamiya в 60-е годы прошлого столетия [54] и продемонстрировавшая возможность человека произвольным образом изменять выраженность спектральных компонентов собственной ЭЭГ. Впоследствии это обстоятельство послужило основой для разработки целого ряда клинических приложений НБУ с целью лечения многих заболеваний через прямые перестройки электрических процессов в головном мозге.

Механизмы лечебного действия НБУ до конца не выяснены, хотя их пониманию посвящены работы многих исследователей [55–58]. Согласно одним представлениям, потенциальными механизмами НБУ являются перестройки нейронных сетей, включая увеличение их глобальной взаимосвязанности и нейропластичности [59]. Другие авторы считают, что НБУ осуществляет настройку колебаний электрической активности мозга на такой гомеостатический уровень, который обеспечивает оптимальный баланс между гибкостью и стабильностью нейронной сети [60].

К настоящему времени положительный клинический опыт применения НБУ накоплен в отношении широкого спектра заболеваний. Среди них синдром дефицита внимания с гиперактивностью [61–65], трудности обучения [66], инсульт [67], черепно-мозговая травма [68], неконтролируемая эпилепсия [69], злоупотребление психоактивными веществами [70–72], депрессия [73], аутизм [74], мигрень [75], расстройства пищевого поведения [76], болевые синдромы [77, 78] и другие патологии. Важно подчеркнуть, что независимо от происхождения симптомов тренировки НБУ предлагают дополнительные возможности для реабилитации через непосредственное переобучение электрических процессов в головном мозге.

В литературе встречаются также данные о лечебных эффектах применения НБУ при психиатрических заболеваниях, таких как расстройства пищевого поведения, шизофрения и психозы [79], для лечения функции исполнительного контроля при синдроме Туретта [80], а также для восстановления и совершенствования функций в спорте высших достижений [81].

Следует отметить, что по вопросу эффективности НБУ при лечении различных патологических состояний и заболеваний существуют противоречивые мнения. Одни авторы считают НБУ безусловно эффективным и специфичным средством лечения эпилепсии, синдрома дефицита внимания с гиперактивностью и тревожных расстройств, вероятно эффективным — при лечении мозговых травм, наркомании и бессонницы и недостаточно эффективным — при депрессивных расстройствах, аутизме и посттравматическом стрессе [23]. Другие авторы при анализе литературных данных приходят к выводу об эффективности НБУ

при расстройствах аутистического спектра, лечении наркозависимости и последствий мозговых травм [59]. Еще одна группа авторов считает НБУ потенциальным клиническим инструментом при тяжелых психоневрологических расстройствах — шизофрении, депрессии, болезни Паркинсона и других [82].

### Проблемы и перспективы технологий «интерфейс мозг–компьютер» и нейробиоуправления

Несмотря на международное признание важности темы, наличие специализированных научных журналов, в исследованиях ИМК и НБУ существует ряд проблем, требующих своего решения.

Для оптимизации технологии ИМК должны быть решены две основные задачи. Во-первых, это подбор наиболее динамичных биометрических сигналов с последующим выделением из них надежных маркеров мысленных усилий человека. Во-вторых, это разработка в значительной степени индивидуализированных регламентов самой процедуры формирования командного мысленного усилия, которое должно приводить к четким и стабильным изменениям в регистрируемых электрографических или метаболических показателях [52].

Необходим прогресс в разработке инвазивных и неинвазивных ИМК, а также в создании приемов точной целенаправленной стимуляции мозга или сенсорных каналов с высоким пространственным и временным разрешением для замещения утраченных сенсорных входов (например, протез ощущения прикосновения у ампутантов), немедленной коррекции дисфункциональных сетей (например, обнаружение и смягчение последствий нарушения нейронной активности) и долгосрочного восстановления здоровых функциональных сетей посредством использования нервных механизмов пластичности мозга [45]. В результате будет развиваться новое направление в медицине — нейропротезирование, или междисциплинарная область исследований, включающая в себя нейронауку, компьютерную науку, физиологию и биомедицинскую инженерию для замены или восстановления двигательных, сенсорных и когнитивных функций, которые могли быть повреждены в результате травмы или болезни [83].

Много открытых вопросов и проблем существует также в отношении НБУ. Так, одни авторы отмечают недостаточное число строго контролируемых исследований и минимальные размеры выборок, используемых в работах по изучению разных вариантов НБУ, несмотря на выводы о положительных результатах [23]. Другие авторы при анализе публикаций по НБУ указывают на такие проблемы, как отсутствие правильного выбора схемы эксперимента, неадекватное использование контрольных условий и групп испытуемых, недостаточность представлений о механизмах обучения, участвующих в саморегуляции мозга [82].

Считается, что клинические перспективы НБУ напрямую зависят от решения перечисленных выше и других методологических проблем, а также от более широкого использования современных технологий визуализации живого человеческого мозга (например, функциональной магнитно-резонансной томографии в режиме реального времени или спектроскопии в ближней инфракрасной области). Использование таких технологий с применением все более строгих протоколов исследований позволит пролить свет на глубинные механизмы НБУ, которые будут способствовать развитию более эффективных клинических применений нейроинтерфейсов [84].

В современных исследованиях по ИМК и НБУ можно выделить две прогрессивные тенденции. Одна из них связана с использованием индивидуально выявляемых специфических компонентов ЭЭГ вместо излишне широкополосных, заранее заданных традиционных ЭЭГ-ритмов [85]. Как показано в ряде работ [63, 86], такой подход приводит к значительному увеличению эффективности лечебных процедур. Вторая тенденция заключается в сочетании технологий нейроинтерфейсов с другими технологиями — транскраниальной магнитной стимуляцией [87] или аудиовизуальной стимуляцией [88], что также увеличивает эффективность воздействий.

### Музыкальный нейроинтерфейс

Одной из центральных в технологии НБУ является проблема оптимальной организации сигналов обратной связи как важнейшего фактора, определяющего успешность биоуправления [89, 90]. В то же время наиболее перспективным подходом к организации процедур НБУ считаются комбинированные воздействия, ориентированные на взаимодействие между мозгом, телом и поведением человека [91]. Именно таким подходом является разработанная авторами технология музыкального НБУ, сочетающая предельную индивидуальность биоуправления с достоинством неосознаваемого восприятия воздействий, характерного для музыкальной терапии [92, 93].

Основу данного подхода составляет использование музыкальных или музыкоподобных воздействий, которые организуются в строгом соответствии с текущими значениями биопотенциалов мозга пациента. Отличительной чертой метода является музыкальная обратная связь от характерных и значимых для индивида узкочастотных ЭЭГ-осцилляторов, выявляемых в режиме реального времени на основе специально разработанного динамического подхода [94–96].

Как известно, музыка сама по себе способна вызывать сильные эмоции, изменяя настроение и помогать в лечении психиатрических и неврологических заболеваний [97]. Воздействуя на мозг, основные функции организма и поведение человека, музыка может подавлять стресс [98, 99], корректировать состояния сознания [100, 101] и вообще служить универ-

сальным терапевтическим средством [102]. Особой эффективностью обладает музыка, предъявляемая в соответствии с индивидуальными характеристиками мозга пациента [103–105]. В нашем случае музыкальные воздействия организуются в строгом соответствии с функционально значимыми для индивида узкочастотными ЭЭГ-осцилляторами, благодаря чему лечебные процедуры приобретают особые целебные свойства [106].

Главным преимуществом технологии музыкального НБУ является возможность его применения для коррекции неблагоприятных функциональных состояний в условиях, не требующих осознанных усилий испытуемых. Это особенно важно при проведении лечебных сеансов с детьми и с пациентами, для которых характерны измененные психические состояния или противопоказана медикаментозная терапия. Поэтому технология музыкального НБУ была успешно опробована для коррекции психоэмоциональных расстройств при беременности и при подготовке к родам [107, 108], а также для устранения стресс-вызванных расстройств [109]. В настоящее время проводятся исследования, направленные на устранение с помощью данной технологии признаков синдрома дефицита внимания с гиперактивностью у детей [110].

### Заключение

Предпринятый анализ литературы показывает, что технологии нейроинтерфейсов уже в настоящее время начинают использоваться в медицине для замены или восстановления полезных функций у людей, неспособных их выполнять из-за нервно-мышечных расстройств или травм, а также для нелекарственного лечения широкого спектра заболеваний и расстройств.

Технология «интерфейс мозг–компьютер» позволяет помочь компенсировать моторные и сенсорные функции, способствует восстановлению чувствительности поврежденных участков тела, дает возможность проводить амбулаторный мониторинг для обнаружения и предупреждения потенциально опасных состояний (например, эпилептических припадков), обеспечивает восстановление части утраченных функций у парализованных пациентов. Благодаря технологии «интерфейс мозг–компьютер» парализованные пациенты могут волевыми усилиями осуществлять набор текстов на экране монитора и нажимать виртуальные кнопки включения/выключения доступных им для самообслуживания устройств. В перспективе в результате многопрофильного сотрудничества неврологов, психологов, врачей, инженеров и математиков указанные возможности технологии «интерфейс мозг–компьютер» будут дополнены программами ускоренного обучения и целенаправленного восстановления памяти, что позволит существенно расширить сферы ее клинического применения как для диагностики заболеваний и скрининга групп риска, так и для эффективной коррекции самых различных патологий.

Нейробиоуправление исходно было ориентировано на клинические приложения и к настоящему времени успешно опробовано при лечении или коррекции большого числа заболеваний и расстройств, начиная от синдрома дефицита внимания с гиперактивностью и аутизма до наркозависимости и иммунодефицита. Несмотря на наличие ряда нерешенных проблем, к настоящему времени технология нейробиоуправления представляется как минимум очень полезным дополнением к существующим средствам лечения. В перспективе благодаря разработке более совершенных протоколов исследований, использованию современных технологий визуализации живого человеческого мозга и оптимальной организации сигналов обратной связи (например, в виде музыки) технологии нейроинтерфейсов могут занять ключевые позиции в клинической практике.

**Финансирование исследования.** Работа поддержана Российским гуманитарным научным фондом, гранты РГНФ №15-06-10894 и №16-06-00133.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Литература/References

- Каплан А.Я., Кочетова А.Г., Шишкин С.Л., Басюл И.А., Ганин И.П., Васильев А.Н., Либуркина С.П. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «интерфейс мозг-компьютер». Бюллетень сибирской медицины 2013; 12(2): 21–29. Kaplan A.Ya., Kochetova A.G., Shishkin S.L., Basyul I.A., Ganin I.P., Vasilev A.N., Liburkina S.P. Experimental and theoretical foundations and practical implementation of technology brain-computer interface. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* 2013; 12(2): 21–29.
- Arns M., Heinrich H., Ros T., Rothenberger A., Strehl U. Editorial: neurofeedback in ADHD. *Front Hum Neurosci* 2015; 9: 602, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00602>.
- Frederick J.A. Psychophysics of EEG alpha state discrimination. *Conscious Cogn* 2012; 21(3): 1345–1354, <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.06.009>.
- Choi K. Electroencephalography (EEG)-based neurofeedback training for brain-computer interface (BCI). *Exp Brain Res* 2013; 231(3): 351–365, <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3699-6>.
- Huster R.J., Mokom Z.N., Enriquez-Geppert S., Herrmann C.S. Brain-computer interfaces for EEG neurofeedback: peculiarities and solutions. *Int J Psychophysiol* 2014; 91(1): 36–45, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.08.011>.
- Wood G., Kober S.E., Witte M., Neuper C. On the need to better specify the concept of “control” in brain-computer-interfaces/neurofeedback research. *Front Syst Neurosci* 2014; 8: 171, <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00171>.
- Johnston S.J., Boehm S.G., Healy D., Goebel R., Linden D.E.J. Neurofeedback: a promising tool for the self-regulation of emotion networks. *NeuroImage* 2010; 49(1): 1066–1072, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.07.056>.
- Lofthouse N., Arnold L.E., Hurt E. Current status of neurofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Curr Psychiatry Rep* 2012; 14(5): 536–542, <https://doi.org/10.1007/s11920-012-0301-z>.
- Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain computer interfaces, a review. *Sensors* 2012; 12(12): 1211–1279, <https://doi.org/10.3390/s120201211>.
- Миняева Н.Р. Неинвазивные технологии в системах интерфейс мозг-компьютер. Валеология 2012; 4: 29–31. Minyaeva N.R. Noninvasive technologies in brain computer interface systems. *Valeologiya* 2012; 4: 29–31.
- Arns M., Heinrich H., Strehl U. Evaluation of neurofeedback in ADHD: the long and winding road. *Biol Psychol* 2014; 95: 108–115, <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.013>.
- Gevensleben H., Moll G.H., Rothenberger A., Heinrich H. Neurofeedback in attention-deficit/hyperactivity disorder — different models, different ways of application. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 846, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00846>.
- Holtmann M., Sonuga-Barke E., Cortese S., Brandeis D. Neurofeedback for ADHD: a review of current evidence. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am* 2014; 23(4): 789–806, <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.05.006>.
- Hurt E., Arnold L.E., Lofthouse N. Quantitative EEG neurofeedback for the treatment of pediatric attention-deficit/hyperactivity disorder, autism spectrum disorders, learning disorders, and epilepsy. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am* 2014; 23(3): 465–486, <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.02.001>.
- Linden D.E. Neurofeedback and networks of depression. *Dialogues Clin Neurosci* 2014; 16(1): 103–112.
- Micoulaud-Franchi J.A., Geoffroy P.A., Fond G., Lopez R., Bioulac S., Philip P. EEG neurofeedback treatments in children with ADHD: an updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 906, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00906>.
- Strehl U. What learning theories can teach us in designing neurofeedback treatments. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 894, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00894>.
- Wander J.D., Rao R.P. Brain-computer interfaces: a powerful tool for scientific inquiry. *Curr Opin Neurobiol* 2014; 25: 70–75, <https://doi.org/10.1016/j.conb.2013.11.013>.
- Шурхай В.А., Александрова Е.В., Потапов А.А., Горайнов С.А. Современное состояние проблемы интерфейс мозг-компьютер. Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко 2015; 79(1): 97–104. Shurkhay V.A., Aleksandrova E.V., Potapov A.A., Goryaynov S.A. The current state of the brain-computer interface problem. *Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko* 2015; 79(1): 97–104.
- Huggins J.E., Moinuddin A.A., Chiodo A.E., Wren P.A. What would brain-computer interface users want: opinions and priorities of potential users with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2015; 96(3): S38–S45.e5, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.05.028>.
- Peters B., Bieker G., Heckman S.M., Huggins J.E., Wolf C., Zeitlin D., Fried-Oken M. Brain-computer interface users speak up: the Virtual Users' Forum at the 2013 International Brain-Computer Interface Meeting. *Arch Phys Med Rehabil* 2015; 96(3 Suppl): S33–S37, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.03.037>.
- Jensen M.P., Sherlin L.H., Askew R.L., Fregni F., Witkop G., Gianas A., Howe J.D., Hakimian S. Effects of non-pharmacological pain treatments on brain states. *Clin Neurophysiol* 2013; 124(10): 2016–2024, <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.04.009>.

23. Larsen S., Sherlin L. Neurofeedback: an emerging technology for treating central nervous system dysregulation. *Psychiatr Clin North Am* 2013; 36(1): 163–168, <https://doi.org/10.1016/j.psc.2013.01.005>.
24. Meisel V., Servera M., Garcia-Banda G., Cardo E., Moreno I. Neurofeedback and standard pharmacological intervention in ADHD: a randomized controlled trial with six-month follow-up. *Biol Psychol* 2013; 94(1): 12–21, <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.04.015>.
25. Holtmann M., Pniewski B., Wachtlin D., Wörz S., Strehl U. Neurofeedback in children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) — a controlled multicenter study of a non-pharmacological treatment approach. *BMC Pediatr* 2014; 14(1): 202, <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-202>.
26. Johnson M.R. Fear of stimulant therapy for children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Child Adolesc Psychopharmacol* 2015; 25(2): 182, <https://doi.org/10.1089/cap.2014.0117>.
27. Haller S., Kopel R., Jhooti P., Haas T., Scharnowski F., Lovblad K.O., Scheffler K., Van De Ville D. Dynamic reconfiguration of human brain functional networks through neurofeedback. *Neuroimage* 2013; 81: 243–252, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.019>.
28. Burns A., Adeli H., Buford J.A. Brain–computer interface after nervous system injury. *Neuroscientist* 2014; 20(6): 639–651, <https://doi.org/10.1177/1073858414549015>.
29. Bamdad M., Zarshenas H., Auais M.A. Application of BCI systems in neurorehabilitation: a scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2015; 10(5): 355–364, <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.961569>.
30. Bowsher K., Civillico E.F., Coburn J., Collinger J., Contreras-Vidal J.L., Denison T., Donoghue J., French J., Getzoff N., Hochberg L.R., Hoffmann M., Judy J., Kleitman N., Knaack G., Krauthamer V., Ludwig K., Moynahan M., Pancrazio J.J., Peckham P.H., Pena C., Pinto V., Ryan T., Saha D., Scharen H., Shermer S., Skodacek K., Takmakov P., Tyler D., Vasudevan S., Wachrathit K., Weber D., Welle C.G., Ye M. Brain–computer interface devices for patients with paralysis and amputation: a meeting report. *J Neural Eng* 2016; 13(2): 023001, <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/2/023001>.
31. Daly J.J., Huggins J.E. Brain–computer interface: current and emerging rehabilitation applications. *Arch Phys Med Rehabil* 2015; 96(3): S1–S7, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.01.007>.
32. Vidal J.J. Toward direct brain–computer communication. *Annu Rev Biophys Bioeng* 1973; 2(1): 157–180, <https://doi.org/10.1146/annurev.bb.02.060173.001105>.
33. Гурфинкель В.С., Малкин В.Б., Цетлин М.Л., Шнейдер А.Ю. Биоэлектрическое управление. М: Наука; 1972; 244 с. Gurfinkel V.S., Malkin V.B., Tsetlin M.L., Shneyder A.Yu. *Bioelektricheskoe upravlenie* [Bioelectric control]. Moscow: Nauka; 1972; 244 p.
34. Бехтерева Н.П., Усов В.В. Методика прерывистой фотостимуляции в ритме собственных потенциалов мозга при регистрации ЭЭГ. *Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова* 1960; 46(1): 108–111. Bekhtereva N.P., Usov V.V. The technique of intermittent photostimulation in the rhythm of the brain self potentials in ECG recording. *Fiziologicheskij zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova* 1960; 46(1): 108–111.
35. Kumano H., Horie H., Shidara T., Kuboki T., Suematsu H., Yasushi M. Treatment of a depressive disorder patient with EEG-driven photic stimulation. *Biofeedback Self Regul* 1996; 21(4): 323–334, <https://doi.org/10.1007/bf02214432>.
36. Kamei T., Toriumi Y., Kumano H., Fukada M., Matsumoto T. Use of photic feedback as an adjunct treatment in a case of miller fisher syndrome. *Percept Mot Skills* 2000; 90(1): 262–264, <https://doi.org/10.2466/pms.90.1.262-264>.
37. Woertz M., Pfurtscheller G., Klimesch W. Alpha power dependent light stimulation: dynamics of event-related (de) synchronization in human electroencephalogram. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004; 20(2): 256–260, <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.03.014>.
38. Shih J.J., Krusienski D.J., Wolpaw J.R. Brain–computer interfaces in medicine. *Mayo Clin Proc* 2012; 87(3): 268–279, <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2011.12.008>.
39. Yanagisawa T., Hirata M., Saitoh Y., Kishima H., Matsushita K., Goto T., Fukuma R., Yokoi H., Kamitani Y., Yoshimine T. Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. *Ann Neurol* 2011; 71(3): 353–361, <https://doi.org/10.1002/ana.22613>.
40. Frolov A.A., Biryukova E.V., Bobrov P.D., Mokienko O.A., Platonov A.K., Pryanichnikov V.E., Chernikova L.A. Principles of neurorehabilitation based on the brain–computer interface and biologically adequate control of the exoskeleton. *Hum Physiol* 2013; 39(2): 196–208, <https://doi.org/10.1134/s0362119713020035>.
41. Каплан А.Я. Гармония большого взрыва. Отечественные записки 2014; 2(59): 123–136. Kaplan A.Y. The harmony of explosion: an interview. *Otechestvennyye zapiski* 2014; 2(59): 123–136.
42. Левицкая О.С., Лебедев М.А. Интерфейс мозг–компьютер: будущее в настоящем. Вестник Российского государственного медицинского университета 2016; 2: 4–16. Levitskaya O.S., Lebedev M.A. Brain–computer interface: the future in the present. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* 2016; 2: 4–16.
43. Hebert J.S., Olson J.L., Morhart M.J., Dawson M.R., Marasco P.D., Kuiken T.A., Chan K.M. Novel targeted sensory reinnervation technique to restore functional hand sensation after transhumeral amputation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2014; 22(4): 765–773, <https://doi.org/10.1109/tnsre.2013.2294907>.
44. Kwok R. Neuroprosthetics: once more, with feeling. *Nature* 2013; 497(7448): 176–178, <https://doi.org/10.1038/497176a>.
45. Miranda R.A., Casebeer W.D., Hein A.M., Judy J.W., Krotkov E.P., Laabs T.L., Manzo J.E., Pankratz K.G., Pratt G.A., Sanchez J.C., Weber D.J., Wheeler T.L., Ling G.S. DARPA-funded efforts in the development of novel brain–computer interface technologies. *J Neurosci Methods* 2015; 244: 52–67, <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.07.019>.
46. Ganin I.P., Shishkin S.L., Kaplan A.Y. A P300-based brain–computer interface with stimuli on moving objects: four-session single-trial and triple-trial tests with a game-like task design. *PLoS One* 2013; 8(10): e77755, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077755>.
47. Mokienko O.A., Lyukmanov R.K., Chernikova L.A., Suponeva N.A., Piradov M.A., Frolov A.A. Brain–computer interface: the first experience of clinical use in Russia. *Hum Physiol* 2016; 42(1): 24–31, <https://doi.org/10.1134/s0362119716010126>.
48. Фролов А.А., Мокиенко О.А., Люкманов Р.Х., Черникова Л.А., Котов С.В., Турбина Л.Г., Бобров П.Д., Бирюкова Е.В., Кондур А.А., Иванова Г.Е., Старицын А.Н.,

- Бушкова Ю.В., Джалагония И.З., Курганская М.Е., Павлова О.Г., Будилин С.Ю., Азиатская Г.А., Хижникова А.Е., Червяков А.В., Лукьянов А.Л., Надайрейшвили Г.Г. Предварительные результаты контролируемого исследования эффективности технологии ИМК-экзоскелет при постинсультном парезе руки. *Вестник Российского государственного медицинского университета* 2016; 2: 17–25. Frolov A.A., Mokienko O.A., Lyukmanov R.Kh., Chernikova L.A., Kotov S.V., Turbina L.G., Bobrov P.D., Biryukova E.V., Kondur A.A., Ivanova G.E., Staritsyn A.N., Bushkova Yu.V., Dzhalongoniya I.Z., Kurganskaya M.E., Pavlova O.G., Budilin S.Yu., Aziatskaya G.A., Khizhnikova A.E., Chervyakov A.V., Lukyanov A.L., Nadareyshvily G.G. Preliminary results of a controlled study of BCI-exoskeleton technology efficacy in patients with poststroke arm paresis. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* 2016; 2: 17–25.
49. Frolov A.A., Husek D., Silchenko A.V., Tintera J., Rydlo J. The changes in the hemodynamic activity of the brain during motor imagery training with the use of brain-computer interface. *Hum Physiol* 2016; 42(1): 1–12, <https://doi.org/10.1134/s0362119716010084>.
50. Шишкин С.Л., Козырский Б.Л., Трофимов А.Г., Нуждин Ю.О., Федорова А.А., Свирич Е.П., Величковский Б.М. Улучшение работы интерфейса глаз–мозг–компьютер при использовании частотных компонентов ЭЭГ. *Вестник Российского государственного медицинского университета* 2016; 2: 39–44. Shishkin S.L., Kozyrskiy B.L., Trofimov A.G., Nuzhdin Y.O., Federova A.A., Svirin E.P., Velichkovsky B.M. Improving eye–brain–computer interface performance by using electroencephalogram frequency components. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* 2016; 2: 39–44.
51. Bradberry T.J., Gentili R.J., Contreras-Vidal J.L. Fast attainment of computer cursor control with noninvasively acquired brain signals. *J Neural Eng* 2011; 8(3): 036010, <https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/3/036010>.
52. Kaplan A.Y. Neurophysiological foundations and practical realizations of the brain–machine interfaces in the technology in neurological rehabilitation. *Hum Physiol* 2016; 42(1): 103–110, <https://doi.org/10.1134/s0362119716010102>.
53. Hammond D.C. What is neurofeedback: an update. *J Neurother* 2011; 15(4): 305–336, <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>.
54. Kamiya J. The first communications about operant conditioning of the EEG. *J Neurother* 2011; 15(1): 65–73, <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.545764>.
55. Ghaziri J., Tucholka A., Larue V., Blanchette-Sylvestre M., Reyburn G., Gilbert G., Lévesque J., Beauregard M. Neurofeedback training induces changes in white and gray matter. *Clin EEG Neurosci* 2013; 44(4): 265–272, <https://doi.org/10.1177/1550059413476031>.
56. Seitz A.R. Cognitive Neuroscience: Targeting neuroplasticity with neural decoding and biofeedback. *Curr Biol* 2013; 23(5): R210–R212, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.015>.
57. Асланян Е.В., Киroy В.Н., Столетний А.С., Лазуренко Д.М., Бахтин О.М., Миняева Н.Р., Киroy Р.И. Влияние индивидуальных особенностей на способность к произвольной регуляции человеком выраженности в ЭЭГ альфа- и бета-частот. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова* 2015; 101(5): 599–613. Aslanyan E.V., Kiroy V.N., Stoletniy A.S., Lazurenko D.M., Bahtin O.M., Minyaeva N.R., Kiroy R.I. Impact of individual personality features on ability to voluntary regulation of expression EEG alpha and beta frequencies. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova* 2015; 101(5): 599–613.
58. Kiroy V.N., Lazurenko D.M., Shepelev I.E., Minyaeva N.R., Aslanyan E.V., Bakhtin O.M., Shaposhnikov D.G., Vladimirskiy B.M. Changes in EEG spectral characteristics in the course of neurofeedback training. *Hum Physiol* 2015; 41(3): 269–279, <https://doi.org/10.1134/s0362119715030081>.
59. Niv S. Clinical efficacy and potential mechanisms of neurofeedback. *Pers Individ Dif* 2013; 54(6): 676–686, <https://doi.org/10.1016/j.paid.2012.11.037>.
60. Ros T., Baars J.B., Lanius R.A., Vuilleumier P. Tuning pathological brain oscillations with neurofeedback: a systems neuroscience framework. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 1008, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01008>.
61. Arnold L.E., Lofthouse N., Hersch S., Pan X., Hurt E., Bates B., Kassouf K., Moone S., Grantier C. EEG neurofeedback for ADHD: double-blind sham-controlled randomized pilot feasibility trial. *J Atten Disord* 2012; 17(5): 410–419, <https://doi.org/10.1177/1087054712446173>.
62. Gevensleben H., Kleemeyer M., Rothenberger L.G., Studer P., Flaig-Röhr A., Moll G.H., Rothenberger A., Heinrich H. Neurofeedback in ADHD: further pieces of the puzzle. *Brain Topogr* 2014; 27(1): 20–32, <https://doi.org/10.1007/s10548-013-0285-y>.
63. Escolano C., Navarro-Gil M., Garcia-Campayo J., Congedo M., Minguez J. The effects of individual upper alpha neurofeedback in ADHD: an open-label pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2014; 39(3–4): 193–202, <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9257-6>.
64. Duric N.S., Aßmus J., Elgen I.B. Self-reported efficacy of neurofeedback treatment in a clinical randomized controlled study of ADHD children and adolescents. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2014; 10: 1645–1645, <https://doi.org/10.2147/ndt.s66466>.
65. Bink M., van Nieuwenhuizen C., Popma A., Bongers I.L., van Bortel G.J.M. Neurocognitive effects of neurofeedback in adolescents with ADHD. *J Clin Psychiatry* 2014; 75(05): 535–542, <https://doi.org/10.4088/jcp.13m08590>.
66. Cannon R.L., Pigott H.E., Surmeli T., Simkin D.R., Thatcher R.W., Van den Bergh W., Gluck G., Lubar J.F., Davis R., Foster D.S., Douglas J., Malcolm A.T., Bars D., Little K., Center W., Berman M., Russell H., Hammer B., Koberda J.L. The problem of patient heterogeneity and lack of proper training in a study of EEG neurofeedback in children. *J Clin Psychiatry* 2014; 75(3): 289–290, <https://doi.org/10.4088/jcp.13lr08850>.
67. Lee Y.-S., Bae S.-H., Lee S.-H., Kim K.-Y. Neurofeedback training improves the dual-task performance ability in stroke patients. *Tohoku J Exp Med* 2015; 236(1): 81–88, <https://doi.org/10.1620/tjem.236.81>.
68. Peskind E.R., Brody D., Cernak I., McKee A., Ruff R.L. Military- and sports-related mild traumatic brain injury. *J Clin Psychiatry* 2013; 74(8): e17, <https://doi.org/10.4088/jcp.12011nr2c>.
69. Strehl U., Birkle S.M., Wörz S., Kotchoubey B. Sustained reduction of seizures in patients with intractable epilepsy after self-regulation training of slow cortical potentials — 10 years after. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 604, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00604>.
70. Ross S.M. Neurofeedback. *Holist Nurs Pract* 2013; 27(4): 246–250, <https://doi.org/10.1097/hnp.0b013e3182971b7c>.

71. Unterrainer H.F., Lewis A.J., Gruzelier J.H. EEG-neurofeedback in psychodynamic treatment of substance dependence. *Front Psychol* 2013; 4: 692, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00692>.
72. Dehghani-Arani F., Rostami R., Nadali H. Neurofeedback training for opiate addiction: improvement of mental health and craving. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2013; 38(2): 133–141, <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9218-5>.
73. Peeters F., Oehlen M., Ronner J., van Os J., Lousberg R. Neurofeedback as a treatment for major depressive disorder — a pilot study. *PLoS One* 2014; 9(3): e91837, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091837>.
74. Pineda J.A., Juavinett A., Datko M. Self-regulation of brain oscillations as a treatment for aberrant brain connections in children with autism. *Med Hypotheses* 2012; 79(6): 790–798, <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.08.031>.
75. Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В. Головная боль напряжения и мигрень: эффективность биологической обратной связи в их терапии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова* 2013; 113(4): 86–91. Sorokina N.D., Selitskii G.V. Tension headache and migraine: efficacy of biological feed-back in their treatment. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* 2013; 113(4): 86–91.
76. Bartholdy S., Musiat P., Campbell I.C., Schmidt U. The potential of neurofeedback in the treatment of eating disorders: a review of the literature. *Eur Eat Disord Rev* 2013; 21(6): 456–463, <https://doi.org/10.1002/erv.2250>.
77. Jensen M.P., Day M.A., Miró J. Neuromodulatory treatments for chronic pain: efficacy and mechanisms. *Nat Rev Neurol* 2014; 10(3): 167–178, <https://doi.org/10.1038/nrneuro.2014.12>.
78. Hassan M.A., Fraser M., Conway B.A., Allan D.B., Vuckovic A. The mechanism of neurofeedback training for treatment of central neuropathic pain in paraplegia: a pilot study. *BMC Neurol* 2015; 15(1), <https://doi.org/10.1186/s12883-015-0445-7>.
79. Schoenberg P.L.A., David A.S. Biofeedback for psychiatric disorders: a systematic review. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2014; 39(2): 109–135, <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9246-9>.
80. Farkas A., Bluschke A., Roessner V., Beste C. Neurofeedback and its possible relevance for the treatment of Tourette syndrome. *Neurosci Biobehav Rev* 2015; 51: 87–99, <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.012>.
81. Graczyk M., Pačalska M., Ziółkowski A., Mańko G., Łukaszewska B., Kochanowicz K., Mirski A., Kropotov I.D. Neurofeedback training for peak performance. *Ann Agric Environ Med* 2014; 21(4): 871–875, <https://doi.org/10.5604/12321966.1129950>.
82. Ruiz S., Birbaumer N., Sitaram R. Editorial: learned brain self-regulation for emotional processing and attentional modulation: from theory to clinical applications. *Front Behav Neurosci* 2016; 10, <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00062>.
83. Hayashibe M., Guiraud D., Pons J.L., Farina D. Editorial: biosignal processing and computational methods to enhance sensory motor neuroprosthetics. *Front Neurosci* 2015; 9: 434, <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00434>.
84. Thibault R.T., Lifshitz M., Raz A. The self-regulating brain and neurofeedback: experimental science and clinical promise. *Cortex* 2016; 74: 247–261, <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.10.024>.
85. Hammond D.C. The need for individualization in neurofeedback: heterogeneity in QEEG patterns associated with diagnoses and symptoms. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2009; 35(1): 31–36, <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9106-1>.
86. Лазарева О.Ю., Базанова О.М. Влияние инструкций на эффективность тренинга произвольного повышения мощности в индивидуальном высокочастотном альфа-диапазоне ЭЭГ. *Бюллетень сибирской медицины* 2013; 12(2): 58–65. Lazareva O.Yu., Bazanova O.M. The effects of instructions on the efficiency of EEG alpha power voluntary increase training. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* 2013; 12(2): 58–65.
87. Sokhadze E.M., El-Baz A.S., Tasman A., Sears L.L., Wang Y., Lamina E.V., Casanova M.F. Neuromodulation integrating rTMS and neurofeedback for the treatment of autism spectrum disorder: an exploratory study. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2014; 39(3–4): 237–257, <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9264-7>.
88. Tang H.-Y., Vitiello M.V., Perlis M., Riegel B. Open-Loop neurofeedback audiovisual stimulation: a pilot study of its potential for sleep induction in older adults. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2015; 40(3): 183–188, <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9285-x>.
89. Fedotchev A.I. Efficacy of EEG biofeedback procedures in correcting stress-related functional disorders. *Hum Physiol* 2010; 36(1): 86–90, <https://doi.org/10.1134/s0362119710010111>.
90. Gruzelier J.H. EEG-neurofeedback for optimising performance. III: a review of methodological and theoretical considerations. *Neurosci Biobehav Rev* 2014; 44: 159–182, <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.015>.
91. Friedrich E.V., Suttie N., Sivanathan A., Lim T., Louchart S., Pineda J.A. Brain-computer interface game applications for combined neurofeedback and biofeedback treatment for children on the autism spectrum. *Front Neuroeng* 2014; 7: 21, <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00021>.
92. Fedotchev A.I., Oh S.J., Semikin G.I. Combination of neurofeedback technique with music therapy for effective correction of stress-induced disorders. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2014; 6(3): 60–63.
93. Fedotchev A.I., Bondar A.T., Bakhchina A.V., Grigorieva V.N., Katayev A.A., Parin S.B., Radchenko G.S., Polevaya S.A. Transformation of patient's EEG oscillators into music-like signals for correction of stress-induced functional states. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2016; 8(1): 93–98, <https://doi.org/10.17691/stm2016.8.1.12>.
94. Федотчев А.И. Анализ резонансных ЭЭГ-реакций при оценке эффективности сенсорных воздействий. *Физиология человека* 1997; 23(4): 117–123. Fedotchev A.I. Analysis of resonance EEG reactions in estimating the effectiveness of sensor exposure. *Fiziologiya cheloveka* 1997; 23(4): 117–123.
95. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Акоев И.Г. Ритмическая структура ЭЭГ человека: современное состояние и тенденции исследований. *Успехи физиологических наук* 2000; 31(3): 39–53. Fedotchev A.I., Bondar A.T., Akoev I.G. Human EEG spectral structure investigation: modern state of the art and the tendencies. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2000; 31(3): 39–53.
96. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Матрусов С.Г., Семенов В.С., Соин А.Г. Использование сигналов обратной связи от эндогенных ритмов пациента для нелекарственной коррекции функциональных расстройств.

- Успехи физиологических наук 2006; 37(4): 82–93. Fedotchev A.I., Bondar' A.T., Matrusov S.G., Semenov V.S., Soin A.G. Utilization of feedback signals from patient's own endogenous rhythms for non-drug correction of human functional disturbances. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2006; 37(4): 82–93.
97. Koelsch S. Brain correlates of music-evoked emotions. *Nat Rev Neurosci* 2014; 15(3): 170–180, <https://doi.org/10.1038/nrn3666>.
98. Thoma M.V., La Marca R., Brönnimann R., Finkel L., Ehler U., Nater U.M. The effect of music on the human stress response. *PLoS One* 2013; 8(8): e70156, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070156>.
99. Radstaak M., Geurts S.A.E., Brosschot J.F., Kompier M.A.J. Music and psychophysiological recovery from stress. *Psychosom Med* 2014; 76(7): 529–537, <https://doi.org/10.1097/psy.0000000000000094>.
100. Rollnik J.D., Altenmüller E. Music in disorders of consciousness. *Front Neurosci* 2014; 8, <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00190>.
101. Clark C.N., Downey L.E., Warren J.D. Brain disorders and the biological role of music. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2014; 10(3): 444–452, <https://doi.org/10.1093/scan/nsu079>.
102. Gray E. In practice: music: a therapy for all? *Perspect Public Health* 2013; 133(1): 14, <https://doi.org/10.1177/1757913912468642>.
103. Höller Y., Thomschewski A., Schmid E.V., Höller P., Crone J.S., Trinka E. Individual brain-frequency responses to self-selected music. *Int J Psychophysiol* 2012; 86(3): 206–213, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.09.005>.
104. Park M., Hennig-Fast K., Bao Y., Carl P., Pöppel E., Welker L., Reiser M., Meindl T., Gutyrchik E. Personality traits modulate neural responses to emotions expressed in music. *Brain Res* 2013; 1523: 68–76, <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.05.042>.
105. Müller W., Haffelder G., Schlotmann A., Schaefers A.T.U., Teuchert-Noodt G. Amelioration of psychiatric symptoms through exposure to music individually adapted to brain rhythm disorders — a randomised clinical trial on the basis of fundamental research. *Cogn Neuropsychiatry* 2014; 19(5): 399–413, <https://doi.org/10.1080/13546805.2013.879054>.
106. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Бахчина А.В., Парин С.Б., Полевая С.А., Радченко Г.С. Музыкально-акустические воздействия, управляемые биопотенциалами мозга, в коррекции неблагоприятных функциональных состояний. Успехи физиологических наук 2016; 47(1): 69–79. Fedotchev A.I., Bondar' A.T., Bakhchina A.V., Parin S.B., Poleyaya S.A., Radchenko G.S. Music-acoustic signals controlled by subject's brain potentials in the correction of unfavorable functional states. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2016; 47(1): 69–79.
107. Fedotchev A.I., Kim E.V. Correction of functional disturbances during pregnancy by the method of adaptive EEG biofeedback training. *Hum Physiol* 2006; 32(6): 652–656, <https://doi.org/10.1134/s0362119706060041>.
108. Федотчев А.И., Ким Е.В. Особенности лечебных сеансов биоуправления с обратной связью по электроэнцефалограмме при нормальном и отягощенном протекании беременности. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова 2009; 59(4): 421–428. Fedotchev A.I., Kim E.V. Peculiarities of biocontrol treatment sessions with electroencephalogram feedback in physiological and aggravated pregnancies. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* 2009; 59(4): 421–428.
109. Федотчев А.И. Стресс, его последствия для человека и современные нелекарственные подходы к их устранению. Успехи физиологических наук 2009; 40(1): 77–91. Fedotchev A.I. Stress, the consequences of its influence on humans and modern non-drug methods of stress-induced states reduction. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2009; 40(1): 77–91.
110. Fedotchev A.I., Zemlyanaya A.A., Poleyaya S.A., Savchuk L.V. Attention deficit hyperactivity disorder and current possibilities of its treatment by the method of neurofeedback training. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* 2016; 116(5): 98, <https://doi.org/10.17116/inevro20161165198-101>.