

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОЗНАНИИ МЕХАНИЗМОВ, ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА (ОБЗОР)

DOI: 10.17691/stm2019.11.1.03

УДК 616.896–07–08+620.3

Поступила 9.10.2018 г.



А.И. Федотчев, д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории механизмов рецепции¹;
В.В. Дворянинова, ассистент кафедры психиатрии и медицинской психологии²;
 младший научный сотрудник отделения функциональной диагностики Университетской клиники²;
С.Д. Великова, д.б.н., научный консультант²;
А.А. Земляная, к.м.н., старший научный сотрудник отделения экзогенно-органических расстройств и эпилепсии³

¹Институт биофизики клетки РАН, ул. Институтская, 3, Пущино, Московская область, 142290;

²Приволжский исследовательский медицинский университет, пл. Минина и Пожарского, 10/1, Н. Новгород, 603005;

³Московский научно-исследовательский институт психиатрии — филиал Национального медицинского исследовательского центра психиатрии и наркологии им. В.П. Сербского Минздрава России, ул. Потешная, 3, кор. 10, Москва, 107076

Расстройства аутистического спектра (РАС) относятся к одним из наиболее распространенных и трудноизлечимых неврологических заболеваний, характеризующихся высокой гетерогенностью и требующих личностно-ориентированных подходов к диагностике и лечению. В обзоре рассмотрены литературные данные последних 5 лет о вкладе современных наукоемких технологий в познание механизмов, диагностику и лечение РАС. Особое внимание уделено возможностям нелекарственного лечения РАС с помощью технологий нейроинтерфейсов, включая интерфейс мозг–компьютер и технологию нейробиоуправления.

Показаны преимущества разработанного авторами музыкального нейроинтерфейса с комплексной обратной связью от биопотенциалов мозга и сердца, обеспечивающего возможность персонализированного лечения РАС.

Ключевые слова: расстройства аутистического спектра; РАС; интерфейс мозг–компьютер; технология нейробиоуправления; персонализированное лечение РАС.

Как цитировать: Fedotchev A.I., Dvorianinova V.V., Velikova S.D., Zemlyanaya A.A. Modern technologies in studying the mechanisms, diagnostics, and treatment of autism spectrum disorders (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(1): 31–39, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.03>

English

Modern Technologies in Studying the Mechanisms, Diagnostics, and Treatment of Autism Spectrum Disorders (Review)

A.I. Fedotchev, DSc, Leading Researcher, Laboratory of Reception Mechanisms¹;
V.V. Dvoryaninova, Assistant, Department of Psychiatry and Medical Psychology²; Junior Researcher, Department of Functional Diagnostics, University Clinic²;
S.D. Velikova, DSc, Scientific Consultant²;
A.A. Zemlyanaya, PhD, Senior Researcher, Department of Exogenous-Organic Disorders and Epilepsy³;

¹Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, 3 Institutskaya St., Pushchino, Moscow Region, 142290, Russia;

²Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russia;

³Moscow Research Institute of Psychiatry, Branch of the V. Serbsky Federal Medical Research Centre of Psychiatry and Narcology, Ministry of Health of the Russian Federation, Bldg 10, 3 Poteshnaya St., Moscow, 107076, Russia

Autism spectrum disorders (ASD) are among the most common and intractable neurological diseases characterized by high heterogeneity and requiring a person-oriented approach to diagnostics and treatment. The purpose of this review is to summarize the

Для контактов: Федотчев Александр Иванович, e-mail: fedotchev@mail.ru

literature data of the last 5 years on the contribution of modern technologies to the knowledge of mechanisms, diagnostics, and treatment of ASD. Particular attention is paid to the possibilities of non-drug treatment of ASD with the help of neurointerface technologies, including the brain–computer interface and neurofeedback technologies. The advantages of the musical neurointerface elaborated by the authors with complex feedback from brain and heart biopotentials, providing the possibility of personalized treatment of ASD, are grounded.

Key words: autism spectrum disorders; ASD; brain–computer interface; neurofeedback technology; personalized ASD treatment.

Введение

Аутизм (погружение в себя, от лат. *autos* — сам) является тяжелым, во многих случаях инвалидизирующим заболеванием раннего детского возраста и характеризуется грубым дефицитом в области коммуникации, социального взаимодействия и речи, наличием ограниченных повторяющихся и стереотипных моделей поведения и интересов, часто сопровождается интеллектуальным недоразвитием [1]. До середины XX в. такой болезни, как аутизм, не существовало — детям и взрослым с аутизмом чаще всего диагностировали шизофрению. Впервые аутизм как заболевание было описано в 1942 г. американским клиницистом Лео Каннером, чуть позже, в 1943 г., сходные расстройства у детей описал австрийский врач Ганс Аспергер, а в 1947 г. — наш соотечественник Самуил Мнухин [2]. Позже из-за чрезвычайной гетерогенности состояний, множественности этиологий, подтипов и динамик развития заболевания его начали относить к группе расстройств аутистического спектра (РАС) [3].

Проблема изучения РАС относится к числу наиболее сложных и актуальных в связи с высокой распространенностью этой патологии — 1–2% в детской популяции [4, 5]. Экспоненциальный рост исследований по данной проблеме начал наблюдаться в конце прошлого столетия, когда была отмечена своеобразная «эпидемия» диагнозов аутизма [6, 7]. До сих пор не очевидно, является ли высокая распространенность аутистических расстройств следствием фактического увеличения заболеваемости или связана с гипердиагностикой и размыванием диагностических границ аутизма применяемыми в современной психиатрической практике классификациями [8, 9]. О высокой актуальности проблемы свидетельствует тот факт, что в 2014 г. 67-я сессия Всемирной ассамблеи здравоохранения приняла резолюцию «Комплексные и согласованные усилия по ведению расстройств аутистического спектра», которую поддержали 60 стран.

Особенно заметно возрастание интереса к проблеме расстройств аутистического спектра в последние годы: количество публикаций по этой теме за 5 лет удвоилось. Появились новые данные о сущности, механизмах возникновения, диагностике и лечении РАС. Задачей представленного обзора явилось детальное рассмотрение этих вопросов, а также вклада современных технологий в решение проблем РАС. Особое внимание уделено возможностям лечения РАС с помощью технологий нейроинтерфейсов, показаны пре-

имущества разработанного авторами музыкального нейроинтерфейса.

Современные представления о сущности и механизмах возникновения расстройств аутистического спектра

К настоящему времени считается общепризнанным, что РАС представляют собой гетерогенный набор нарушений развития, неврологических по своей природе, которые проявляются в раннем детстве и характеризуются сниженным уровнем или отсутствием соответствующих возрасту социальных контактов с другими людьми и необычайно ограниченными, стереотипными типами поведения, интересами и активностями [10]. Известно также, что РАС поражают больше мужчин, чем женщин [11], часто сопровождаются коморбидными расстройствами — умственной отсталостью [12], задержкой речевого развития [13], эпилепсией [14], депрессией [15], тревожностью [16], нарушениями внимания [17–19].

Детям с РАС свойственна сенсорная гиперчувствительность, фрагментированное и искаженное восприятие, трудности обработки ощущений [20]. У них значительно чаще, чем в норме, наблюдаются феномены синестезии — восприятия, при котором стимуляция одного сенсорного канала вызывает ощущения в других органах чувств. Такие дети «видят» звуки или «чувствуют запахи» цвета, геометрические фигуры для них имеют «вкус», они ощущают кожей или «слышат» цвета и т.д. [21]. Имеются данные о том, что сенсорные дисфункции при РАС сохраняются с возрастом у подростков и взрослых [22, 23].

Больные с РАС избегают зрительных контактов с окружающими, крайне разборчивы в быту, им свойственны стереотипные движения и моторные действия, а также речевые стереотипии, связанные со стремлением к поддержанию однообразного состояния [24]. При малейших изменениях привычных жизненных условий у этих больных отмечается резко негативная реакция, сопровождаемая особыми эмоциональными состояниями — уходом в себя и эмоциональными срывами [25].

Действительные причины развития РАС до сих пор не выявлены, но большинство исследователей считают, что в основе этих заболеваний лежит комбинация генетических и эпигенетических факторов с факторами окружающей среды [26, 27]. В качестве ключевых патофизиологических механизмов РАС рассматриваются такие процессы, как нейрогенез, рост нейритов,

синаптогенез и синаптическая пластичность [28], а также атипичная корковая организация и снижение целостности границ между серым и белым веществом мозга [29].

Наукоемкие технологии в диагностике расстройств аутистического спектра

Проблема диагностики РАС крайне актуальна, так как ее несвоевременность утяжеляет течение основного заболевания и увеличивает риск формирования коморбидных расстройств [30]. В последние годы благодаря внедрению современных технологий в клиническую практику сформировалось несколько перспективных подходов к решению данной проблемы.

Существенное место в развитии методов диагностики РАС принадлежит количественной электроэнцефалографии [31, 32]. Так, с помощью ее использования при РАС установлены нарушения взаимосвязанности областей мозга в состоянии покоя [33], а пиковая частота альфа-ритма ЭЭГ предложена в качестве биомаркера когнитивных функций при РАС [34].

Разработка все более эффективных подходов к компьютерному анализу неинвазивно регистрируемых характеристик у пациентов с РАС позволила продемонстрировать диагностический потенциал и других биоэлектрических показателей, таких как электрокардиограмма [35] и вариабельность сердечного ритма [36], магнитоэнцефалограмма [37], электромиограмма [38] и т.д. С учетом трудности контактов с большими РАС перспективными представляются инновационные методы диагностики, основанные на биохимическом анализе слюны [39–41].

В связи с тем, что одним из наиболее характерных признаков РАС является избегание зрительных контактов с окружающими [42], широкое развитие получили диагностические сенсорные технологии и в первую очередь технологии отслеживания движений глаз (Eye-tracking technologies) [43]. Так, разработаны алгоритмы для ранней диагностики РАС на основе сравнительного анализа движений глаз при предъявлении пациенту социальных или абстрактных сцен [44]. Для выявления особенностей зрительного контакта при социальных взаимодействиях вместо стационарной предложена специальная узконаправленная камера [45], исследованы механизмы уменьшенного внимания к глазам окружающих [46]. Разработан метод компьютерного анализа выражений лиц при социальных взаимодействиях, который позволяет выявлять такой маркер РАС, как уменьшенная интенсивность лицевой экспрессии [47].

Безусловно, особое внимание исследователей при поиске эффективных подходов к диагностике РАС в последние годы привлекают технологии генетического тестирования [48]. Так, предложена технология определения мутаций в последовательности генов, которые могут наблюдаться только у больных РАС, но не встре-

чаются в норме [49]. В США создается национальная база данных по аутизму, которая включает геномные и нейробиологические данные тысяч пациентов и позволяет применять технологию анализа больших данных (Big Data Technology) для нахождения маркеров РАС [50]. Считается, что прогресс технологий генетического тестирования в ближайшем будущем откроет новые перспективы диагностики и лечения РАС [51].

Традиционные подходы к лечению расстройств аутистического спектра

К настоящему времени общепризнано, что РАС относятся к трудноизлечимым заболеваниям в связи с чрезвычайной гетерогенностью состояний, множественностью этиологий, подтипов и траекторий развития болезни [52]. При этом считается, что наиболее эффективным средством воздействия на нарушения при РАС является ранняя помощь детям, предусматривающая начало коррекционных мероприятий еще в процессе диагностики при обнаружении первых признаков заболевания [53]. Для этого могут применяться процедуры телемедицинского обследования пациентов [54], в ходе которых не только осуществляется своевременная диагностика РАС, но и выдаются лечебные рекомендации специалистов [55].

На данный момент специфической медикаментозной терапии для РАС не существует, а используемые лекарственные средства, по мнению клиницистов, могут только уменьшать симптомы сопутствующих заболеваний [56]. В такой ситуации наиболее широкое распространение при лечении РАС получили методы когнитивно-поведенческой терапии, направленные на формирование социально приемлемого поведения, структурированное обучение навыкам, а также анализ вербального поведения и обучение ему [57–59].

При оценке возможностей комплементарной и альтернативной терапии в лечении РАС перспективными считаются такие виды лечебных воздействий, как музыкальная терапия [60–62], сенсорно-интеграционная терапия, или сенсорное обогащение окружающей среды [63], акупунктура [64] и массаж [65]. Предложена технология для усиления физической активности у детей с РАС, направленная на выработку повышенных физиологических реакций на динамические движения путем непрерывного измерения затрат энергии и частоты сердечных сокращений в процессе специально организованных тренировок [66].

Важным средством коррекции эмоционального развития детей с аутизмом признается игровая деятельность [67]. В ходе игры у детей с РАС вырабатываются навыки активного взаимодействия с окружающей средой, формируются их нравственные, интеллектуальные, эмоционально-волевые качества, происходит развитие личности, расширяется круг общения, развиваются функции приспособления и социализации [68]. Поэтому включение игровых компонентов в лечебные процедуры при РАС считается чрезвычайно полезным

для уменьшения симптомов, связанных с заболеванием [69].

Игры для улучшения поведения, когнитивных процессов и регуляции эмоций у детей с РАС эффективно применяются и в технологиях нейроинтерфейсов [70].

Нейроинтерфейсы в лечении расстройств аутистического спектра

В последние годы технологии нейроинтерфейсов, включая интерфейс мозг–компьютер и нейробиоуправление, становятся лечебным инструментом для множества психических [71, 72] и неврологических [73–75] расстройств, для восстановления и улучшения нервных, когнитивных и поведенческих функций человека [76–79].

Интерфейсы мозг–компьютер представляют собой программно-аппаратные системы распознавания и декодирования командных паттернов биоэлектрической активности мозга, доступных для произвольного контроля самим пользователем [80, 81]. В технологиях нейробиоуправления разнообразные биофизические характеристики организма человека преобразуются в информационные сигналы обратной связи для его обучения навыку произвольной регуляции различных функций [82, 83].

Общей чертой этих технологий является их высокая персонализация через использование обратной связи от индивидуальных биоэлектрических характеристик пациента при организации лечебных воздействий [84]. Это особенно важно, так как в связи с чрезвычайной гетерогенностью РАС именно развитие персонализированных подходов к их диагностике и лечению считается наиболее перспективным направлением исследований [85]. Подтверждением этого тезиса является целый ряд недавних работ, в которых показано успешное применение технологии нейроинтерфейсов как при диагностике, так и при лечении РАС.

Так, наибольшее распространение получили нейроинтерфейсы, использующие биопотенциалы мозга (ЭЭГ) в качестве сигналов обратной связи [86]. Клинический опыт использования нейроинтерфейсов для лечения ряда педиатрических заболеваний, включая РАС, свидетельствует о безопасности и эффективности этих лечебных процедур [87]. Так, с помощью сеансов ЭЭГ-нейробиоуправления у пациентов с РАС отмечены эффекты нормализации поведенческих и электрофизиологических показателей за счет увеличения функциональной и структурной взаимосвязанности областей мозга [88]. Под влиянием процедур ЭЭГ-нейробиоуправления у пациентов с РАС выявлены позитивные изменения в поведении (они становятся менее агрессивными и более контактными), показателях внимания, памяти и моторных навыков, а также улучшение общего уровня повседневного функционирования [89]. ЭЭГ-нейробиоуправление относится к наиболее эффективным методам коррекции психофизиологических характеристик у пациентов с РАС [90].

Оригинальный нейроинтерфейс был недавно предложен для детекции и подавления состояний тревоги при РАС [91]. Интерфейс, названный «биомызкой», преобразует физиологические сигналы пациента в музыку (электрокожную активность — в мелодию, температуру — в музыкальную тональность, частоту сердечных сокращений — в ритм), прослушивание которой позволяет интуитивно определять неблагоприятные состояния и подавлять их.

Анализ литературы показывает, что в развитии технологий нейроинтерфейсов наблюдаются две прогрессивные тенденции. Одна из них заключается в подходах, предполагающих применение музыкальных или музыкалоподобных сигналов обратной связи от собственных биоэлектрических характеристик, облегчающих пациенту их восприятие и способствующих увеличению эффективности лечебных воздействий [92–94]. Вторая тенденция связана со стремлением к разработке мультимодальных [95] или гибридных [96] нейроинтерфейсов, в которых используется комплексная мультимодальная обратная связь не только от параметров ЭЭГ, но и от других систем организма [97].

С целью реализации и развития описанных тенденций авторами данной публикации разработан музыкальный нейроинтерфейс, сочетающий предельную персонализацию ЭЭГ-биоуправления с достоинством неосознаваемого восприятия воздействий, характерного для музыкальной терапии [98, 99]. В его основе лежат музыкальные или музыкалоподобные воздействия, которые организуются в строгом соответствии с текущими значениями биопотенциалов мозга пациента. Отличительной чертой разработанного нейроинтерфейса, усиливающей персонализацию лечебных процедур, является использование музыкальной обратной связи не от излишне широкополосных традиционных ритмов ЭЭГ (тета-, альфа-, бета- и т.д.), а от характерных и значимых для индивидуума узкочастотных ЭЭГ-осцилляторов, выявляемых в реальном масштабе времени на основе специально разработанного динамического подхода [100].

Главным преимуществом музыкального нейроинтерфейса 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 недостаточно эффективна медикаментозная терапия. Поэтому данная технология была успешно опробована для устранения стресс-вызванных расстройств [101] и рисков функциональной надежности специалиста [102]. Сегодня обоснованы преимущества использования музыкального нейроинтерфейса для лечения синдрома дефицита внимания с гиперактивностью [103] и эпилепсии [104].

С другой стороны, при лечении РАС особенно эффективными считаются комбинированные нейроинтерфейсы, ориентированные на взаимодействие

мозга, тела и поведения пациента [105]. Недавно авторами разработан и опробован в модельных экспериментах вариант музыкального нейроинтерфейса [106], в котором аудиовизуальные воздействия, формируемые на основе ЭЭГ испытуемого, дополняются ритмическими звуковыми сигналами, моделирующими ритм его сердцебиений. Полученные данные дают возможность предположить, что комплексная обратная связь, использующая управляющие сигналы от биопотенциалов мозга и сердца пациента, может эффективно применяться при лечении РАС.

Заключение

Приведенные данные убедительно показывают, что за последние годы достигнут определенный прогресс в понимании сущности и механизмов РАС, а также в диагностике и лечении этих заболеваний. Наиболее значимые результаты получены в работах, использующих современные наукоемкие технологии: количественную электроэнцефалографию, технологию отслеживания движений глаз, технологию генетического тестирования и др.

Важное место в арсенале терапевтических средств при РАС начинают занимать технологии нейроинтерфейсов, использующие обратную связь от индивидуальных биоэлектрических характеристик пациента и тем самым обеспечивающие персонализированные лечебные воздействия. Можно ожидать, что развитие упомянутых технологий и их внедрение в клиническую практику приведут в ближайшем будущем к созданию эффективных средств диагностики и лечения РАС.

Финансирование исследования. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №18-013-01225, 18-413-520006, 19-013-00095).

Конфликт интересов отсутствует.

Литература/References

1. Бородин Л.Г., Письменная Н.В. Медицинские аспекты сопровождения детей с расстройствами аутистического спектра. Аутизм и нарушения развития 2017; 15(3): 3–8. Borodina L.G., Pis'mennaya N.V. Medical aspects of support to children with autism spectrum disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2017; 15(3): 3–8, <https://doi.org/10.17759/autdd.2017150301>.
2. Потокина А.М. Размышления клинического психолога об аутизме. В кн.: Тенденции развития науки и образования. Самара; 2017; с. 35–37. Potokina A.M. Razmyshleniya klinicheskogo psikhologa ob autizme. V kn.: *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Reflections of the clinical psychologist on autism. In: Trends in the development of science and education]. Samara; 2017; p. 35–37, <https://doi.org/10.18411/lj-31-08-2017-29>.
3. Constantino J.N. Deconstructing autism: from unitary syndrome to contributory developmental endophenotypes. *Int Rev Psychiatry* 2018; 30(1): 18–24, <https://doi.org/10.1080/09540261.2018.1433133>.
4. Симашкова Н.В., Якупова Л.П., Ключник Т.П., Коваль-Зайцев А.А. Мультидисциплинарный клинико-биологический подход к изучению психотических форм расстройств аутистического спектра у детей. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова 2013; 113(5–2): 35–42. Simashkova N.V., Yakupova L.P., Kliushnik T.P., Koval-Zaitsev A.A. A multidisciplinary clinical and biological approach to the study of psychotic types of autistic spectrum disorders in children. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova* 2013; 113(5–2): 35–42.
5. Симашкова Н.В., Ключник Т.П., Коваль-Зайцев А.А., Якупова Л.П. Клинико-биологические подходы к диагностике детского аутизма и детской шизофрении. Аутизм и нарушения развития 2016; 14(4): 51–67. Simashkova N.V., Klyushnik T.P., Koval-Zaitsev A.A., Yakupova L.P. Multidisciplinary clinical and psychological aspects of diagnosis. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2016; 14(4): 51–67, <https://doi.org/10.17759/autdd.2016140408>.
6. Weintraub K. The prevalence puzzle: autism counts. *Nature* 2011; 479(7371): 22–24, <https://doi.org/10.1038/479022a>.
7. Hollin G. Autistic heterogeneity: linking uncertainties and indeterminacies. *Sci Cult* 2017; 26(2): 209–231, <https://doi.org/10.1080/09505431.2016.1238886>.
8. Гребенникова Е.В., Шелехов И.Л., Филимонова Е.А. Понимание расстройств аутистического спектра на основе междисциплинарного подхода. Научно-педагогическое обозрение 2016; 3(13): 16–22. Grebennikova E.V., Shelekhov I.L., Filimonova E.A. Understanding autism spectrum disorder from an interdisciplinary perspective. *Nauchno-pedagogicheskoe obozrenie* 2016; 3(13): 16–22.
9. Graf W.D., Miller G., Epstein L.G., Rapin I. The autism “epidemic”: ethical, legal, and social issues in a developmental spectrum disorder. *Neurology* 2017; 88(14): 1371–1380, <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000003791>.
10. Thibaut F. New perspectives in autism spectrum disorders. *Dialogues Clin Neurosci* 2017; 19(4): 323.
11. Ferri S.L., Abel T., Brodtkin E.S. Sex differences in autism spectrum disorder: a review. *Curr Psychiatry Rep* 2018; 20(2): 9, <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0874-2>.
12. Морозов С.А., Морозова Т.И., Белявский Б.В. К вопросу об умственной отсталости при расстройствах аутистического спектра. Аутизм и нарушения развития 2016; 14(1): 9–18. Morozov S.A., Morozova T.I., Belyavskiy B.V. On the issue of intellectual disability in autism spectrum disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2016; 14(1): 9–18, <https://doi.org/10.17759/autdd.2016140102>.
13. Мамохина У.А. Особенности речи при расстройствах аутистического спектра. Аутизм и нарушения развития 2017; 15(3): 24–33. Mamokhina U.A. Speech features in autism spectrum disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2017; 15(3): 24–33, <https://doi.org/10.17759/autdd.2017150304>.
14. Besag F.M. Epilepsy in patients with autism: links, risks and treatment challenges. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2017; 14: 1–10, <https://doi.org/10.2147/ndt.s120509>.
15. Hudson C.C., Hall L., Harkness K.L. Prevalence of depressive disorders in individuals with autism spectrum disorder: a meta-analysis. *J Abnorm Child Psychol* 2018, <https://doi.org/10.1007/s10802-018-0402-1> [Epub ahead of print].
16. Rodgers J., Ofield A. Understanding, recognising and treating co-occurring anxiety in autism. *Curr Dev Disord Rep* 2018; 5(1): 58–64, <https://doi.org/10.1007/s40474-018-0132-7>.

17. Строганова Т.А., Орехова Е.В., Галюта И.А. Монотропизм внимания у детей с аутизмом. Экспериментальная психология 2014; 7(4): 66–82. Strojanova T.A., Orekhova E.V., Galuta I.A. Monotropism of attention in autistic children. *Ekspierimental'naya psikhologiya* 2014; 7(4): 66–82.
18. Строганова Т.А., Орехова Е.В., Галюта И.А. Нейронные механизмы нарушений ориентировки внимания у детей с расстройствами аутистического спектра. Экспериментальная психология 2015; 8(3): 7–23. Strojanova T.A., Orekhova E.V., Galuta I.A. Neural basis of attention orienting abnormalities in children with autism. *Ekspierimental'naya psikhologiya* 2015; 8(3): 7–23, <https://doi.org/10.17759/exppsy.2015080302>.
19. Voxhoorn S., Lopez E., Schmidt C., Schulze D., Hänig S., Freitag C.M. Attention profiles in autism spectrum disorder and subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2018; 27(11): 1433–1447, <https://doi.org/10.1007/s00787-018-1138-8>.
20. Нейсон В. О ключевых проблемах аутизма. Сенсорные аспекты аутизма. Аутизм и нарушения развития 2016; 14(3): 42–48. Nason W. Core challenges of autism. Sensory aspects of autism. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2016; 14(3): 42–48, <https://doi.org/10.17759/autdd.2016140304>.
21. Богдашина О.Б. Синестезия при аутизме. Аутизм и нарушения развития 2016; 14(3): 21–31. Bogdashina O.B. Synaesthesia in autism. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2016; 14(3): 21–31, <https://doi.org/10.17759/autdd.2016140302>.
22. DuBois D., Lymer E., Gibson B.E., Desarkar P., Nalder E. Assessing sensory processing dysfunction in adults and adolescents with autism spectrum disorder: a scoping review. *Brain Sci* 2017; 7(8): 108, <https://doi.org/10.3390/brainsci7080108>.
23. Perez Repetto L., Jasmin E., Fombonne E., Gisel E., Couture M. Longitudinal study of sensory features in children with autism spectrum disorder. *Autism Res Treat* 2017; 2017: 1934701, <https://doi.org/10.1155/2017/1934701>.
24. Мачурина Т.Н. Детский аутизм: диагностика, терапия, реабилитация. *International Scientific Review* 2016; 20(30): 105–108. Machurina T.N. Infantile autism: diagnosis, therapy, rehabilitation. *International Scientific Review* 2016; 20(30): 105–108.
25. Нейсон В. О ключевых проблемах аутизма. Эмоциональность на спектре. Аутизм и нарушения развития 2017; 15(3): 58–68. Nason W. Core challenges of autism. Emotionality on spectrum. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2017; 15(3): 58–68, <https://doi.org/10.17759/autdd.2017150308>.
26. Chaste P., Leboyer M. Autism risk factors: genes, environment, and gene-environment interactions. *Dialogues Clin Neurosci* 2012; 14(3): 281–292.
27. Siu M.T., Weksberg R. Epigenetics of autism spectrum disorder. *Adv Exp Med Biol* 2017; 978: 63–90, https://doi.org/10.1007/978-3-319-53889-1_4.
28. Gilbert J., Man H.Y. Fundamental elements in autism: from neurogenesis and neurite growth to synaptic plasticity. *Front Cell Neurosci* 2017; 11: 359, <https://doi.org/10.3389/fncel.2017.00359>.
29. Andrews D.S., Avino T.A., Gudbrandsen M., Daly E., Marquand A., Murphy C.M., Lai M.C., Lombardo M.V., Ruigrok A.N., Williams S.C., Bullmore E.T., The Mrc Aims Consortium, Suckling J., Baron-Cohen S., Craig M.C., Murphy D.G., Ecker C. In vivo evidence of reduced integrity of the gray-white matter boundary in autism spectrum disorder. *Cereb Cortex* 2017; 27(2): 877–887, <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw404>.
30. Альбицкая Ж.В. Ранний детский аутизм — проблемы и трудности первичной диагностики при междисциплинарном взаимодействии. Медицинский альманах 2016; 2(42): 108–111. Albitskaya Zh.V. Early children autism — issues and difficulties of initial diagnostics in the case of interdisciplinary interaction. *Medicinskij al'manah* 2016; 2(42): 108–111, <https://doi.org/10.21145/2499-9954-2016-2-108-111>.
31. Балдова С.Н., Белова А.Н., Шейко Г.Е., Борзиков В.В., Кузнецов А.Н., Полякова А.Г., Лоскутова Н.В. Количественная электроэнцефалография при изучении расстройств аутистического спектра. Практическая медицина 2017; 1(102): 35–39. Baldova S.N., Belova A.N., Sheyko G.E., Borzikov V.V., Kuznetsov A.N., Polyakova A.G., Loskutova N.V. Quantitative electroencephalography in autism spectrum disorders research. *Prakticheskaya meditsina* 2017; 1(102): 35–39.
32. Gurau O., Bosl W.J., Newton C.R. How useful is electroencephalography in the diagnosis of autism spectrum disorders and the delineation of subtypes: a systematic review. *Front Psychiatry* 2017; 8: 121, <https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00121>.
33. Zeng K., Kang J., Ouyang G., Li J., Han J., Wang Y., Sokhadze E.M., Casanova M.F., Li X. Disrupted brain network in children with autism spectrum disorder. *Sci Rep* 2017; 7(1): 16253, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16440-z>.
34. Dickinson A., DiStefano C., Senturk D., Jeste S.S. Peak alpha frequency is a neural marker of cognitive function across the autism spectrum. *Eur J Neurosci* 2018; 47(6): 643–651, <https://doi.org/10.1111/ejn.13645>.
35. Di Palma S., Tonacci A., Narzisi A., Domenici C., Pioggia G., Muratori F., Billeci L. Monitoring of autonomic response to sociocognitive tasks during treatment in children with autism spectrum disorders by wearable technologies: a feasibility study. *Comput Biol Med* 2017; 85: 143–152, <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2016.04.001>.
36. Белова А.Н., Борзиков В.В., Кузнецов А.Н., Комкова О.В. Активность вегетативной нервной системы по результатам исследования вариабельности сердечного ритма у детей с расстройствами аутистического спектра (обзор). Медицинский альманах 2017; 5(50): 130–136. Belova A.N., Borzikov V.V., Kuznetsov A.N., Komkova O.V. Activity of vegetative nervous system in accordance with the results of cardiac variability rhythm study in the case of children having disorders of autistic nature. *Medicinskij al'manah* 2017; 5(50): 130–136, <https://doi.org/10.21145/2499-9954-2017-5-130-136>.
37. Duan F., Watanabe K., Yoshimura Y., Kikuchi M., Minabe Y., Aihara K. Detection of atypical network development patterns in children with autism spectrum disorder using magnetoencephalography. *PLoS One* 2017; 12(9): e0184422, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184422>.
38. Wu D., José J.V., Nurnberger J.I., Torres E.B. A biomarker characterizing neurodevelopment with applications in autism. *Sci Rep* 2018; 8(1): 614, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18902-w>.
39. Galiana-Simal A., Muñoz-Martinez V., Calero-Bueno P., Vela-Romero M., Beato-Fernandez L. Towards a future molecular diagnosis of autism: recent advances in biomarkers research from saliva samples. *Int J Dev Neurosci* 2018; 67: 1–5, <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2018.03.004>.
40. Qiao Y., Wu M., Feng Y., Zhou Z., Chen L., Chen F.

Alterations of oral microbiota distinguish children with autism spectrum disorders from healthy controls. *Sci Rep* 2018; 8(1): 1597, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19982-y>.

41. Li G., Lee O., Rabitz H. High efficiency classification of children with autism spectrum disorder. *PLoS One* 2018; 13(2): e0192867, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192867>.

42. Trevisan D.A., Roberts N., Lin C., Birmingham E. How do adults and teens with self-declared autism spectrum disorder experience eye contact? A qualitative analysis of first-hand accounts. *PLoS One* 2017; 12(11): e0188446, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188446>.

43. Cabibihan J.J., Javed H., Aldosari M., Frazier T.W., Elbashir H. Sensing technologies for autism spectrum disorder screening and intervention. *Sensors* 2016; 17(1): E46, <https://doi.org/10.3390/s17010046>.

44. Vargas-Cuentas N.I., Roman-Gonzalez A., Gilman R.H., Barrientos F., Ting J., Hidalgo D., Jensen K., Zimic M. Developing an eye-tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. *PLoS One* 2017; 12(11): e0188826, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188826>.

45. Edmunds S.R., Rozga A., Li Y., Karp E.A., Ibanez L.V., Rehg J.M., Stone W.L. Brief report: using a point-of-view camera to measure eye gaze in young children with autism spectrum disorder during naturalistic social interactions: a pilot study. *J Autism Dev Disord* 2017; 47(3): 898–904, <https://doi.org/10.1007/s10803-016-3002-3>.

46. Moriuchi J.M., Klin A., Jones W. Mechanisms of diminished attention to eyes in autism. *Am J Psychiatry* 2017; 174(1): 26–35, <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2016.15091222>.

47. Owada K., Kojima M., Yassin W., Kuroda M., Kawakubo Y., Kuwabara H., Kano Y., Yamasue H. Computer-analyzed facial expression as a surrogate marker for autism spectrum social core symptoms. *PLoS One* 2018; 13(1): e0190442, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190442>.

48. Barton K.S., Tabor H.K., Starks H., Garrison N.A., Laurino M., Burke W. Pathways from autism spectrum disorder diagnosis to genetic testing. *Genet Med* 2018; 20(7): 737–744, <https://doi.org/10.1038/gim.2017.166>.

49. Ungar W.J. Next generation sequencing and health technology assessment in autism spectrum disorder. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry* 2015; 24(2): 123–127.

50. Payakachat N., Tilford J.M., Ungar W.J. National Database for Autism Research (NDAR): big data opportunities for health services research and health technology assessment. *Pharmacoeconomics* 2016; 34(2): 127–138, <https://doi.org/10.1007/s40273-015-0331-6>.

51. Fernandez B.A., Scherer S.W. Syndromic autism spectrum disorders: moving from a clinically defined to a molecularly defined approach. *Dialogues Clin Neurosci* 2017; 19(4): 353–371.

52. Masi A., DeMayo M.M., Glozier N., Guastella A.J. An overview of autism spectrum disorder, heterogeneity and treatment options. *Neurosci Bull* 2017; 33(2): 183–193, <https://doi.org/10.1007/s12264-017-0100-y>.

53. Морозов С.А., Морозова С.С., Морозова Т.И. Некоторые особенности ранней помощи детям с расстройствами аутистического спектра. Аутизм и нарушения развития 2017; 15(2): 19–31. Morozov S.A., Morozova S.S., Morozova T.I. Some of the early help features for children with autism spectrum disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* 2017; 15(2): 19–31, <https://doi.org/10.17759/autdd.2017150202>.

54. Juárez A.P., Weitlauf A.S., Nicholson A., Pasternak A.,

Broderick N., Hine J., Stainbrook J.A., Warren Z. Early identification of ASD through telemedicine: potential value for underserved populations. *J Autism Dev Disord* 2018; 48(8): 2601–2610, <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3524-y>.

55. Smith C.J., Rozga A., Matthews N., Oberleitner R., Nazneen N., Abowd G. Investigating the accuracy of a novel telehealth diagnostic approach for autism spectrum disorder. *Psychol Assess* 2017; 29(3): 245–252, <https://doi.org/10.1037/pas0000317>.

56. Lai M.-C., Lombardo M.V., Baron-Cohen S. Autism. *Lancet* 2014; 383(9920): 896–910, [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61539-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61539-1).

57. Сербина Л.Ф. Исследование проблемы коррекции психического развития детей с РАС с использованием нейropsихологического подхода. Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина 2017; 4: 92–96. Serbina L.F. Investigation of the problem of correction of the mental development of children with ASD using the neuropsychological approach. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A.S. Pushkina* 2017; 4: 92–96.

58. Tachibana Y., Miyazaki C., Ota E., Mori R., Hwang Y., Kobayashi E., Terasaka A., Tang J., Kamio Y. A systematic review and meta-analysis of comprehensive interventions for pre-school children with autism spectrum disorder (ASD). *PLoS One* 2017; 12(12): e0186502, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186502>.

59. Kuder S.J., Accardo A. What works for college students with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord* 2018; 48(3): 722–731, <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3434-4>.

60. Brondino N., Fusar-Poli L., Rocchetti M., Provenzani U., Barale F., Politi P. Complementary and alternative therapies for autism spectrum disorder. *Evid Based Complement Alternat Med* 2015; 2015: 258589, <https://doi.org/10.1155/2015/258589>.

61. LaGasse A.B. Social outcomes in children with autism spectrum disorder: a review of music therapy outcomes. *Patient Relat Outcome Meas* 2017; 8: 23–32, <https://doi.org/10.2147/prom.s106267>.

62. Chenausky K.V., Schlaug G. From intuition to intervention: developing an intonation-based treatment for autism. *Ann N Y Acad Sci* 2018; 1423(1): 229–241, <https://doi.org/10.1111/nyas.13609>.

63. Weitlauf A.S., Sathe N., McPheeters M.L., Warren Z.E. Interventions targeting sensory challenges in autism spectrum disorder: a systematic review. *Pediatrics* 2017; 139(6): e20170347, <https://doi.org/10.1542/peds.2017-0347>.

64. Lee B., Lee J., Cheon J.H., Sung H.K., Cho S.H., Chang G.T. The efficacy and safety of acupuncture for the treatment of children with autism spectrum disorder: a systematic review and meta-analysis. *Evid Based Complement Alternat Med* 2018; 2018: 1057539, <https://doi.org/10.1155/2018/1057539>.

65. Field T. Massage therapy research review. *Complement Ther Clin Pract* 2016; 24: 19–31, <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2016.04.005>.

66. Bittner M.D., Rigby B.R., Silliman-French L., Nichols D.L., Dillon S.R. Use of technology to facilitate physical activity in children with autism spectrum disorders: a pilot study. *Physiol Behav* 2017; 177: 242–246, <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.012>.

67. Yu C.C.W., Wong S.W.L., Lo F.S.F., So R.C.H., Chan D.F.Y. Study protocol: a randomized controlled trial study on the effect of a game-based exercise training program on

promoting physical fitness and mental health in children with autism spectrum disorder. *BMC Psychiatry* 2018; 18(1): 56, <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1635-9>.

68. Лодинова О.А. Игра как метод коррекции эмоционального развития детей с аутизмом. Научный альманах 2017; 6–1(32): 143–146. Lodinova O.A. The game as a method of correction of the emotional development of children with autism. *Nauchnyy al'manakh* 2017; 6–1(32): 143–146.

69. Lau H.M., Smit J.H., Fleming T.M., Riper H. Serious games for mental health: are they accessible, feasible, and effective? A systematic review and meta-analysis. *Front Psychiatry* 2017; 7: 209, <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00209>.

70. Friedrich E.V., Sivanathan A., Lim T., Suttie N., Louchart S., Pillen S., Pineda J.A. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord* 2015; 45(12): 4084–4100, <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2523-5>.

71. Arns M., Batail J.M., Bioulac S., Congedo M., Daudet C., Drapier D., Fovet T., Jardri R., Le-Van-Quyen M., Lotte F., Mehler D., Micoulaud-Franchi J.A., Purper-Ouakil D., Vialatte F.; NEXt group. Neurofeedback: one of today's techniques in psychiatry? *Encephale* 2017; 43(2): 135–145, <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.11.003>.

72. Costa E., Silva J.A., Steffen R.E. The future of psychiatry: brain devices. *Metabolism* 2017; 69S: S8–S12, <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.010>.

73. Каплан А.Я. Нейрофизиологические основания и практические реализации технологии мозг-машинных интерфейсов в неврологической реабилитации. Физиология человека 2016; 42(1): 118–127, <https://doi.org/10.7868/s0131164616010100>. Kaplan A.Ya. Neurophysiological foundations and practical realizations of the brain-machine interfaces the technology in neurological rehabilitation. *Fiziologiya cheloveka* 2016; 42(1): 118–127, <https://doi.org/10.7868/s0131164616010100>.

74. Levitskaya O.S., Lebedev M.A. Brain-computer interface: the future in the present. *Bulletin of Russian State Medical University* 2016; 2: 4–15, <https://doi.org/10.24075/brsmu.2016-02-01>.

75. Carelli L., Solca F., Faini A., Meriggi P., Sangalli D., Ciproso P., Riva G., Ticozzi N., Ciammola A., Silani V., Poletti B. Brain-computer interface for clinical purposes: cognitive assessment and rehabilitation. *Biomed Res Int* 2017; 2017: 1695290, <https://doi.org/10.1155/2017/1695290>.

76. Волкова К.В., Дагаев Н.И., Киселев А.С., Касумов В.Р., Александров М.В., Осадчий А.Е. Интерфейс мозг-компьютер: опыт построения, использования и возможные пути повышения рабочих характеристик. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова 2017; 67(4): 504–520. Volkova K.V., Dagaev N.I., Kiselev A.S., Kasumov V.R., Aleksandrov M.V., Osadchiy A.E. The brain-computer interface: the experience of building, using, and possible ways to improve performance. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova* 2017; 67(4): 504–520, <https://doi.org/10.7868/s0044467717040128>.

77. Фролов А.А., Бобров П.Д. Интерфейс мозг-компьютер: нейрофизиологические предпосылки и клиническое применение. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова 2017; 67(4): 365–376. Frolov A.A., Bobrov P.D. Brain-computer interface: neurophysiological background, clinical application. *Zhurnal vysshei nervnoi*

deyatelnosti imeni I.P. Pavlova 2017; 67(4): 365–376, <https://doi.org/10.7868/s0044467717040013>.

78. Renton T., Tibbles A., Topolovec-Vranic J. Neurofeedback as a form of cognitive rehabilitation therapy following stroke: a systematic review. *PLoS One* 2017; 12(5): e0177290, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177290>.

79. Sitaram R., Ros T., Stoekel L., Haller S., Scharnowski F., Lewis-Peacock J., Weiskopf N., Blefari M.L., Rana M., Oblak E., Birbaumer N., Sulzer J. Closed-loop brain training: the science of neurofeedback. *Nat Rev Neurosci* 2017; 18(2): 86–100, <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.164>.

80. 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. *Bulletin of Siberian Medicine* 2013; 12(2): 21–29.

81. McFarland D.J., Vaughan T.M. Brain-computer interface (BCI) in practice. *Prog Brain Res* 2016; 228: 389–404, <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.06.005>.

82. Gaume A., Vialatte A., Mora-Sánchez A., Ramdani C., Vialatte F.B. A psychoengineering paradigm for the neurocognitive mechanisms of biofeedback and neurofeedback. *Neurosci Biobehav Rev* 2016; 68: 891–910, <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.012>.

83. Marzbani H., Marateb H.R., Mansourian M. Neurofeedback: a comprehensive review on system design, methodology and clinical applications. *Basic Clin Neurosci* 2016; 7(2): 143–158, <https://doi.org/10.15412/j.bcn.03070208>.

84. 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). *Sovremennye tehnologii v medicene* 2017; 9(1): 175–184, <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.1.22>.

85. Higdon R., Earl R.K., Stanberry L., Hudac C.M., Montague E., Stewart E., Janko I., Choiniere J., Broomall W., Kolker N., Bernier R.A., Kolker E. The promise of multi-omics and clinical data integration to identify and target personalized healthcare approaches in autism spectrum disorders. *OMICS* 2015; 19(4): 197–208, <https://doi.org/10.1089/omi.2015.0020>.

86. Enriquez-Geppert S., Huster R.J., Herrmann C.S. EEG-neurofeedback as a tool to modulate cognition and behavior: a review tutorial. *Front Hum Neurosci* 2017; 11: 51, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00051>.

87. 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>.

88. Pineda J.A., Carrasco K., Datko M., Pillen S., Schalles M. Neurofeedback training produces normalization in behavioural and electrophysiological measures of high-functioning autism. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2014; 369(1644): 20130183, <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0183>.

89. Zivoder I., Martic-Biocina S., Kosic A.V., Bosak J. Neurofeedback application in the treatment of autistic spectrum disorders (ASD). *Psychiatr Danub* 2015; 27(Suppl 1): S39–S394.

90. Wang Y., Sokhadze E.M., El-Baz A.S., Li X., Sears L., Casanova M.F., Tasma A. Relative power of specific EEG bands and their ratios during neurofeedback training in children with autism spectrum disorder. *Front Hum Neurosci* 2016; 9: 723, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00723>.

91. Cheung S., Han E., Kushki A., Anagnostou E., Biddiss E. Biomusic: an auditory interface for detecting physiological indicators of anxiety in children. *Front Neurosci* 2016; 10: 401, <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00401>.

92. Федотчев А.И., Радченко Г.С. Музыкальная терапия и «музыка мозга»: состояние, проблемы и перспективы исследований. *Успехи физиологических наук* 2013; 44(4): 35–50. Fedotchev A.I., Radchenko G.S. Music therapy and “brain music” state of the art, problems and perspectives. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2013; 44(4): 35–50.

93. Константинов К.В., Леонова М.К., Мирошников Д.Б., Клименко В.М. Особенности восприятия акустического образа собственной биоэлектрической активности головного мозга. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова* 2014; 100(6): 710–721. Konstantinov K.V., Leonova M.K., Miroshnikov D.B., Klimentov V.M. Specifics of perception of acoustic image of intrinsic bioelectric brain activity. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova* 2014; 100(6): 710–721.

94. Bergstrom I., Seinfeld S., Arroyo-Palacios J., Slater M., Sanchez-Vives M.V. Using music as a signal for biofeedback. *Int J Psychophysiol* 2014; 93(1): 140–149, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.04.013>.

95. Gui K., Liu H., Zhang D. Towards multimodal human-robot interaction to enhance active participation of users in gait rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2017; 25(11): 2054–2066, <https://doi.org/10.1109/tnsre.2017.2703586>.

96. Choi I., Rhiu I., Lee Y., Yun M.H., Nam C.S. A systematic review of hybrid brain-computer interfaces: taxonomy and usability perspectives. *PLoS One* 2017; 12(4): e0176674, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176674>.

97. Hong K.S., Khan M.J. Hybrid brain-computer interface techniques for improved classification accuracy and increased number of commands: a review. *Front Neurobot* 2017; 11: 35, <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00035>.

98. 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.

99. 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>.

100. 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., Polevaya 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.

101. 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.

102. О Сан Чжун, Семикин Г.И., Федотчев А.И. Использование прямых и обратных связей в системе человек-машина при устранении рисков функциональной надежности специалиста. *Живая психология* 2015; 2(4): 291–300. Oh S.J., Semikin G.I., Fedotchev A.I. Utilization of forward and backward interactions in human-machine system for elimination of specialist's functional reliability risks. *Zivaa psihologia* 2015; 2(4): 291–300, <https://doi.org/10.18334/lp.2.4.35130>.

103. Федотчев А.И., Земляная А.А., Полевая С.А., Савчук Л.В. Синдром дефицита внимания с гиперактивностью и современные возможности его лечения методом нейробиоуправления. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова* 2016; 116(5): 98–101. Fedotchev A.I., Zemlyanaya A.A., Polevaya S.A., Savchuk L.V. Attention deficit hyperactivity disorder and current possibilities of its treatment by the method of neurofeedback training. *Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova* 2016; 116(5): 98–101, <https://doi.org/10.17116/jnevro20161165198-101>.

104. Zemlyanaya A.A., Fedotchev A.I. Individual approaches to diagnosis and treatment of epilepsy (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2018; 10(3): 204–212, <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.3.25>.

105. 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>.

106. Федотчев А.И., Журавлев Г.И., Ексина К.И., Силантьева О.М., Полевая С.А. Оценка эффективности музыкального ЭЭГ нейроинтерфейса с дополнительным контуром управления от сердечного ритма. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова* 2018; 104(1): 122–128. Fedotchev A.I., Zhuravlev G.I., Eksina K.I., Silantjeva O.M., Polevaya S.A. Evaluation of efficiency of musical EEG neurointerface with additional control contour from heart rhythm. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova* 2018; 104(1): 122–128.