

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

КОГНИТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СПОРТЕ

Л.С. БЕЛОУСОВ^{1,2}, Д.А. НАПАЛКОВ², Д.Д. ЖИГУЛЬСКАЯ^{2,3}, Н.Л. ПЕШИН^{1,2},
Б.М. ВЕЛИЧКОВСКИЙ^{2,4,5,6}

¹ Российский международный олимпийский университет, Сочи

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

³ ООО «Нейродрайв», Москва

⁴ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

⁵ Российский государственный гуманитарный университет, Москва

⁶ Московский физико-технический институт, Долгопрудный

Рассмотрены практические перспективы и фундаментальные научные проблемы использования в спорте новых технологий, первоначально возникших в ходе развития психологических и нейрофизиологических исследований. Первой из них является технология айтрекинга (регистрация движений глаз), которая все чаще применяется сегодня для контроля внимания и восприятия самих спортсменов, тренеров и спортивных судей. Вторая технология связана с созданием искусственной – виртуальной – среды для тренировки, а также проведения соревнований в таких только возникающих областях, как киберпсихология и и-спорт (e-Sport). Наконец, третья технология реализует процессы нейробиоуправления состоянием спортсмена на базе нейрофизиологических методов анализа работы головного мозга. Эти три технологии полностью неинвазивны и поэтому представляют собой альтернативу запрещенному законодательством использованию химических субстанций для повышения выносливости спортсменов и ускорения формирования у них сложных двигательных навыков. В статье проанализированы реальные возможности и пока еще нерешенные проблемы, связанные с этими технологиями, такие, как необходимость периодического прерывания деятельности для рекалибровки показаний айтрекинга и недооценка воспринимаемой глубины пространства в системах виртуальной реальности. В последнем случае развитие сдерживается отсутствием надежных мультимодальных сенсоров, а также актуаторов для стимуляции тактильных и вестибулярных ощущений. В области нейробиоуправления одной из центральных проблем в настоящее время является объяснение парадоксального расхождения в выраженности альфа-ритма у представителей точностных видов спорта: если у спортсменов средней квалификации по данным электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в момент прицеливания альфа-ритм угасает, то у спортсменов высшей квалификации он, напротив, усиливается, одновременно сдвигаясь в высокочастотную часть спектра колебаний. В статье предлагается предварительное объяснение данного феномена, а также подчеркивается значение строго индивидуального подхода при использовании в спортивной практике альфа-тренинга и других нейрокогнитивных средств исследований и разработок.

Ключевые слова: спорт, внимание, эмоции, стресс-устойчивость, айтрекинг, виртуальная реальность, «серьезные игры», Кинект, биологическая обратная связь (БОС), нейробиоуправление, электроэнцефалография (ЭЭГ), стрельба, индивидуальный подход.

В последние два десятилетия в мировой науке наряду с физико-химическими, биологическими и информационными дисци-

плинами в качестве равнозначного выделился кластер наук, связанный с изучением познавательных (когнитивных) процессов

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-78-30029, субсидии Министерства образования и науки РФ

№14.601.21.0017 (УИР RFMEFI60117X0017) и внутреннего гранта НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1378 от 23.08.2017).

у человека и животных. В результате в начале XXI в. радикально изменился облик многих разделов таких традиционных дисциплин «человеческого фактора», как психология, лингвистика, физиология, философия, экономика, эргономика и антропология. Наряду с появлением междисциплинарной *когнитивной науки* (cognitive science), возник целый ряд технологических приложений. Наша статья посвящена влиянию когнитивных исследований на возникновение новых технологий в области спортивной подготовки. Центральное понятие прикладных когнитивных исследований — *когнитивные технологии*, под которыми понимаются инструменты, материалы и процедуры, улучшающие оценку актуальной ситуации человеком и результативность его деятельности.

Хотя когнитивные технологии стали развиваться с задержкой по отношению к инфо-, био- и нанотехнологиям, объем обеспечиваемого ими рынка инновационных продуктов и услуг уже измеряется в миллиардах долларов. Применительно к спорту этот рынок регулируется, прежде всего, национальным и международным антидопинговым законодательством. Это законодательство не исключает применения молекулярно-генетических тестов для диагностики и отбора, однако оно строго запрещает немедицинское использование методов геномной инженерии и когнотропных субстанций, влияющих на выносливость спортсмена и скорость формирования навыков (Коновалова, 2018). Тем более существенными являются перспективы альтернативных вариантов технологической поддержки спортсменов. К их числу относится ряд методов и технологий, возникающих на стыке информационных и нейробиологических дисциплин. В данной статье мы остановимся на трех группах таких технологий, связанных с использованием основанного на видеорегистрации айтрекинга (технологии, которая позволяет фиксировать движения взгляда человека),

систем виртуальной реальности и нейробиоуправления на базе нейрофизиологических методов анализа и контроля работы головного мозга человека.

ТЕХНОЛОГИИ, ВНИМАТЕЛЬНЫЕ К ВНИМАНИЮ ЧЕЛОВЕКА

В процессе конвергенции технологий когнитивные исследования выполняют системную роль проверки соответствия разрабатываемых продуктов и услуг психофизиологическим характеристикам человека. Развитие инженерных приложений в области человеческого фактора проходило сначала под знаком базовых физических и биомеханических параметров человека. С конца прошлого века на первый план выступает учет постоянно меняющихся когнитивных характеристик человека, в результате чего возникла *когнитивная эргономика* с центральным для нее принципом ориентации на внимание и намерения человека, а не на его инвариантные антропологические характеристики, как это было в традиционной эргономике (Velichkovsky, Hansen, 1996).

Современные подходы впервые открывают возможности для подлинно адаптивного взаимодействия между человеком и его окружением. Так, например, обработка изображения лица позволяет практически в режиме реального времени (с частотой 2000 раз в секунду и выше) фиксировать движения глаз человека, отражающие уровень и направленность внимания, одновременно определяя по мимике лица его эмоциональное состояние. Данный метод использует тот факт, что в каждый момент времени лишь узкая фовеальная область поля зрения диаметром около двух угловых градусов может быть детально воспринята наблюдателем. Размеры этой области примерно соответствуют угловой величине ногтя большого пальца вытянутой руки. Таким образом, исходное для нашего сознания впечатление одновременного восприятия заполненного

светом и цветом предметного окружения представляет собой результат интеграции знания о типичных особенностях среды нашей жизнедеятельности с данными, получаемыми в результате развернутой во времени глазодвигательной активности. Нам кажется, что мы видим значительно больше, чем воспринимаем в действительности. Специальная тренировка с использованием новых технологий позволяет, однако, существенно расширить диапазон обнаружения в поле зрения динамических изменений, релевантных для достижения успеха в спорте (Appelbaum, Erickson, 2018).

Наряду с совершенствованием систем видеослежения и обработки изображений, важнейшее значение для создания *технологий, внимательных к вниманию человека*, имеют данные нейробиологии о существовании двух основных групп кортикальных механизмов зрительного восприятия¹. Первая из них локализована преимущественно в теменных отделах коры (дорсальный поток). Она обеспечивает глобальную пространственную локализацию объектов и осуществление направленных к ним движений. Вторая система реализует процессы идентификации объектов и их детального, контролируемого сознательно (функция фокального внимания) обследования. Эта, эволюционно более новая система восприятия, преимущественно связана с так называемым вентральным потоком переработки зрительной и другой экстероцептивной информации, к которому относятся различные отделы височных долей. Динамический баланс активации этих двух систем определяет картину ми-

кроповедения глаз (Vélíchkovsky et al., 2005). Для демонстрации селективного влияния различных мозговых систем на зрительные фиксации и саккадические движения в процессе активного зрения потребовалась модификация существующих методов нейровизуализации. Решением стал новый метод FIBER (Fixation Based Event Related) fMRI (функциональной магнитно-резонансной томографии), при котором суммация сигналов BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent), отражающего метаболизм кислорода, осуществляется в режиме естественного глазодвигательного поведения (Vélíchkovsky et al., 2012). Это позволило выделить подмножество относительно продолжительных, так называемых фокальных зрительных фиксаций (>200 мс), опосредствованных работой кортикальных механизмов вентрального потока. Фокальным фиксациям противопоставляются более короткие, амбьентные (от фр. *ambience* — окружение) фиксации. Они связаны с механизмами дорсального потока переработки информации.

С закономерностями активного зрения, различающими два уровня регуляции и, соответственно, два класса зрительных фиксаций, связан методический прием, породивший новое направление тренировочных практик в нескольких видах спорта. Эти практики, получившие особое распространение в Северной Америке, подчеркивают значение «спокойного глаза» (quiet eye), т.е. восстановление режима фокальной зрительной фиксации в критический момент точностного спортивного упражнения, например, при выполнении бросков в баскетболе (Harris, Vine, Wilson, 2017; Marques et al., 2018), хоккее (Panchuk, Vickers, Hopkins, 2017), а также в других видах спорта (Fegatelli et al., 2016). Этот прием также используется для тренировки детского внимания (Miles et al., 2017). Можно было бы предположить, что по мере автоматизации спортивного движения длительность сопутствующих

¹ Общее число анатомически и физиологически различных механизмов зрения, разумеется, значительно выше. Уже на уровне сетчатки выделяют до 80 различных групп клеточных механизмов, которые дают начало примерно 20 функциональным системам, участвующим в выполнении таких специальных функций, как цветовое зрение, рефлекторное изменение диаметра зрачка, а также регуляция биологических ритмов и даже настроения.

действию зрительных фиксаций могла бы стремиться к минимуму, переходя в область амбьентных величин. Однако, судя по всему, сознательный контроль остается важным элементом произвольного двигательного акта в реальных условиях. В других режимах оказывается невозможным гибко учитывать множество переменных, характеризующих обстоятельства выполнения действия «здесь и теперь» (Velichkovsky B.B., Rumyantsev, Morozov, 2014).

Существует целый ряд областей применения технологии айтрекинга в спорте (Kredel et al., 2017). К их числу относится, в частности, анализ того, насколько эффективны глазодвигательные координации и какие зрительные признаки выделяют спортсмены в спорте высших достижений, в таких видах спорта, как теннис (Mallek et al., 2017), бадминтон (Chia et al., 2017), гигантский слалом (Decroix et al., 2017), велоспорт (Boya et al., 2017) и автогонки (Van Leeuwen et al., 2017). Проводятся также исследования, направленные на выявление предельных параметров сложных движений, в принципе возможных для человека (Iljukov, Schumacher, 2017; Klostermann, Küng, 2017). Еще одна близкая группа работ посвящена выяснению того, на что обращают внимание профессиональные эксперты — тренеры и спортивные судьи, оценивая качество спортивных действий. Примером могут служить недавние исследования, посвященные анализу глазодвигательного поведения и динамики зрительного внимания у тренеров дзюдо (Robertson et al., 2018) и судей соревнований по спортивной гимнастике (Pizzera, Möller, Plessner, 2018). Кроме чисто академического интереса, лежащая в основе этих исследований мотивация связана с перспективой передачи функций оценки спортивных упражнений автоматическим экспертным системам обработки изображений и принятия решения (Granåsen, 2018, in press).

Занятия спортом часто связаны с риском травм головного мозга, причем такой

травматизм может иметь незаметный (латентный) характер. Регистрация движений глаз, особенно в сочетании с нейровизуализацией активации мозга, представляет собой чувствительный индикатор латентного травматизма. Эффективность неврологических тестов, основанных на использовании айтрекинга, продемонстрирована недавно при диагностических обследованиях хоккеистов (Kiefer et al., 2018) и представителей нескольких контактных видов спорта (Kellar et al., 2018).

Существенным недостатком технологии айтрекинга является необходимость периодической калибровки для установления соответствия регистрируемого положения глаз и координат внешнего окружения. Если стоимость самих айтрекеров существенно снизилась в последние годы, необходимость такого прерывания деятельности затрудняет использование этой технологии в реальных условиях. Решение этой проблемы наметилось сегодня в области помощи людям, лишенным в силу тех или иных причин возможности двигаться и говорить (locked-in syndrome). Когнитивные интерфейсы позволяют им вызывать на экран нужную информацию и осуществлять с ней необходимые операции, изменяя одно лишь направление взора (Величковский и др., 2017). Некоторое время назад здесь была продемонстрирована перспективность использования новых оптических наноматериалов, так называемых би-дирекциональных стекол (на базе Transparent Organic Light Emitted Diodes, или TOLED), позволяющих пространственно совмещать виртуальную информацию с реальным окружением и одновременно реализующих на основе регистрации линии взора коммуникативные намерения пользователя (Vogel et al., 2009). Поскольку предъявление информации и регистрация движений глаз осуществляется в одной и той же оптической среде, отпадает необходимость в калибровке измерений. Эти материалы могут стать идеальным

средством для создания мобильных систем дополненной и смешанной реальности (augmented and mixed reality) в спорте.

КОГНИТИВНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ФОРМЫ РЕАЛЬНОСТИ

Современные когнитивные технологии первоначально возникли как технологии интерфейсов между человеком и вычислительными системами. Примером служат графические интерфейсы пользователя, по сегодняшний день доминирующие на рынке компьютерных услуг. В основе этой технологии лежат исследования зрительной долговременной памяти, в том числе исследования, проводившиеся в конце 1970-х гг. в МГУ им. М.В. Ломоносова (см.: Величковский, 2006). Эти работы выявили практически неограниченный объем зрительной памяти-узнавания, резко контрастирующий с небольшим объемом памяти на буквенно-цифровой материал и абстрактные команды языков программирования. На использовании средств компьютерной графики и психологических знаний о закономерностях восприятия основана технология виртуальной реальности (virtual reality, VR), широко применяющаяся в тренажерах, компьютерных играх, а также при создании прототипов промышленных изделий. При условии создания с помощью соответствующих проекционных, вычислительных и программных средств полноценной иллюзии искусственного окружения (оно может охватывать все 720° трехмерного пространства) у человека наблюдаются эффекты субъективного «погружения» (immersion) в новую среду и устойчивого «присутствия» (presence) в ней (Velichkovsky B.V., 2017).

Наступление относительной зрелости этой технологии совпало с двумя важными этапами в развитии взаимодействия человека и вычислительной техники. Во-первых, компьютерные игры перестали относиться только к сфере развлечений и начали находить значительно более широкое применение

в качестве «серьезных игр» («serious games»), которые позволяют игроку приобретать навыки, полезные для успеха в реальном мире. Большинство таких применений связано с навыками управления боевой техникой и различными аспектами академического обучения, однако быстро растет число компьютерных игр, рассматриваемых в качестве возможного прообраза новых виртуальных видов спортивных соревнований. В этой связи появились новые термины, такие как VR eSport, Cyberport, Sport 2.0 или, например, Exergaming — производное от exercise (упражнение) и game (игра). Этому развитию посвящены сборники материалов международных конференций и обзорные монографии, выпущенные крупнейшими научными издательствами мира (Hurley, 2018; Lames, Saupe, Wiemayer, 2018; Miah, 2017)².

Во-вторых, в последнее десятилетие изменилось место двигательной активности и физической нагрузки в процессах взаимодействия человека и компьютера. Длительное время такое взаимодействие было синонимом прогрессирующей потери подвижности, т.е. чем-то прямо противоположным физической подготовке и спорту. Ситуация изменилась, когда в продаже появилась бесконтактные сенсорные контролеры к игровым приставкам. В частности, выпущенная в 2010 г. система Кинект (*Kinect*) — относительно недорогой контролер к игровым приставкам фирмы *Microsoft* — позволила пользователю взаимодействовать с компьютером через позы и движения тела. В состав «серьезных игр», которые реализуются с помощью Кинект и аналогичных систем, выпущенных производителями электронной техники и программного обеспечения, входят, наряду с аэробикой и общеукрепля-

² Уже сейчас финальные соревнования по компьютерным играм могут привлекать внимание аудитории, превышающей по количеству зрителей финалы соревнований в традиционных видах спорта (Railsback, Caporusso, 2018).

ющей гимнастикой, также тренировочные курсы в таких разделах спорта, как бокс, боулинг, пляжный волейбол, настольный теннис, фигурное катание, футбол и ряд видов легкой атлетики.

Интерес к виртуальному спорту объясняется возможностями, открываемыми этой технологией. Важнейшей перспективой является индивидуализация тренировок, которые могут проводиться сколько угодно долго в любое время, в удаленном от места реальных соревнований месте и в широком диапазоне условий, например, с имитацией снегопада или тумана на трассе лыжных гонок (Neumann et al., 2017; Pataky, Lamb, 2018). Кроме того, носимые на теле сенсоры и вычислительные устройства (wearables), которые снимают показания жизнедеятельности и осуществляют обработку данных для предъявления в качестве обратной связи спортсменам и/или тренерам, позволяют реализовать любые алгоритмы обучения спортивным навыкам (Düking et al., 2018)³. Дополнение виртуальной среды технологией виртуальных агентов — аватаров — открывает спортсмену возможность посмотреть на себя со стороны в любом ракурсе, а также сравнить себя с аватарами тренера или какого-либо признанного лидера в этой области спорта (Hudson, Hurter, 2016). Специальные программы позволяют при этом выявить (часто буквально «высветить» для большей наглядности) различия с эталоном в пространственном рисунке поз и движений (Cuperus, van der Ham, 2016; Passos, Campos, Diniz, 2017; Zhang et al., 2018). Помимо высокопроизводительных компьютеров и программного обеспечения для создания аватаров-эталонов достаточно иметь доступ к базам данных видеорегистрации

крупных международных соревнований. Эти данные подвергаются обработке, например, с помощью так называемых сверхточных искусственных нейронных сетей, реализуемых алгоритмами «глубокого обучения». В качестве побочного продукта такая обработка позволяет автоматически выделить признаки индивидуального стиля движений выдающихся спортсменов в теннисе, боксе или, например, футболе (Hülsmann et al., 2016; Power et al., 2017).

Значительный потенциал использования технологии виртуальной реальности и ее несомненный коммерческий успех не получают пока, однако, столь же однозначной поддержки в отношении объективных показателей спортивных достижений. Позитивный эффект отмечен лишь в ограниченном числе случаев (Hoffmann et al., 2014; Vignais et al., 2015). Хотя искусственное окружение может стимулировать усилия спортсмена, финальный эффект зависит от множества индивидуальных факторов, таких как ориентация внимания на собственное состояние или на внешнее окружение и оставшееся до цели расстояние (Neumann, Moffitt, 2018). Критическую роль играют технические недостатки существующих систем. Так, многолетние попытки создать тренажер для отработки броска по кольцу в баскетболе пока не привели к устранению систематических ошибок в прилагаемом спортсменом усилии и, соответственно, дальности броска (Düking, Holmberg, Sperlich, 2018). Тренировка в условиях, которые порождают систематические ошибки, может вести к негативному переносу сформировавшегося навыка на деятельность в реальных условиях⁴.

Очевидной причиной ошибок в дальности броска в виртуальных условиях является установленная в исследованиях

³ В литературе отмечается, однако, что связанный с реализацией этой возможности взрывообразный рост интенсивности интернет-трафика может ограничить развитие технологии интерактивного киберспорта (Austen, 2015).

⁴ В спорте такой негативный перенос явно нежелателен, но он может быть и очень опасен, как это известно, в частности, из истории подготовки капитанов для флота супертанкеров (Nickerson, 1992).

восприятия реальности недооценка эгоцентрического расстояния (Gerig et al., 2018; Renner, Velichkovsky, Helmert, 2013). Такая недооценка обусловлена все еще очень низким уровнем экологической валидности искусственной среды в отношении имитации условий естественного восприятия пространства. Качество восприятия пространства определяется взаимодействием нескольких сенсорных модальностей и субмодальностей (Величковский, 2006), вклады которых в финальный перцепт до известной степени суммируются (Bridgeman, van der Heijden, Velichkovsky, 1994); хотя в случае конфликтов между модальностями зрение, как правило, доминирует, такие конфликты могут сопровождаться ощущениями дезориентации и тошноты, похожими на симптомы морской болезни, которые в случае систем виртуальной реальности получили суммарное название «болезни тренажеров». Особенно часто такие эффекты возникают при несоответствии зрительной информации о движениях тела и вестибулярных сигналов об ускорениях. Значительные трудности связаны с имитацией тактильных ощущений (Величковский, 2010). Соматосенсорная чувствительность имеет особенно большое значение у представителей контактных видов спорта, но важна и во всех других случаях, например, для выбора усилия при бросках мяча в гандболе и баскетболе.

Таким образом, должно еще пройти некоторое время, прежде чем можно будет говорить о том, что основные обещания этого вида технологии в спорте оказались выполненными. Прогресс в области машинного обучения и распознавания образов не может быть в полной мере реализован из-за отсутствия актуаторов для стимуляции модальностей, отличных от зрения и слуха, т.е. прежде всего, соматосенсорной и вестибулярной чувствительности. Одной из актуальных задач исследований и разработок остается создание необременительных для самого спортсмена мультимодальных

сенсоров (Düking et al., 2018). Согласованная работа этих еще только создаваемых технических подсистем необходима для того, чтобы виртуальная реальность стала полноценной альтернативой физическому окружению в профессиональной подготовке спортсменов.

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЯ НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ

Биоуправление, или биологическая обратная связь (БОС) — это технология, демонстрирующая человеку изменения физиологических показателей его жизнедеятельности, что позволяет ему — произвольно или непроизвольно — регулировать эти показатели для достижения желаемого состояния. Существует несколько физиологических сигналов, которые чаще всего используются в БОС: частота сердечных сокращений и вариабельность сердечного ритма, частота дыхания, амплитуда мышечной активности, температура и проводимость кожи, параметры электрической активности головного мозга. Даже при опоре на вегетативные показатели целью тренировки обычно является изменение состояния нервной системы. Суть метода в таком случае заключается в визуализации или «аудиолизации» периферических проявлений активности мозга. Томографические методы на данный момент требуют применения стационарного оборудования, крайне неудобного и слишком дорогого для использования в спортивной практике. Кроме того, метод функциональной магниторезонансной томографии обладает низким временным разрешением по сравнению с более простой и дешевой регистрацией электрической активности головного мозга. Использование в качестве сигнала различных компонентов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) является основным методом так называемого нейробиоуправления, или нейрофидбэка.

Тренировки с БОС на основе ЭЭГ проводятся как в принятых в науке частотных

диапазонах (дельта-, тета-, альфа-, бета-, гамма-диапазоны), так и в эмпирически полученных частотных границах. Наиболее популярным является тренинг, связанный с модуляцией альфа-активности, однако технологию также применяют для работы с тета-, бета- и гамма-ритмом. Как правило, тренировка с БОС сводится к изменению амплитуды ритмики в соответствующем диапазоне, реже — к сдвигу ее частоты. В зависимости от вида спорта и цели тренировки могут применяться две совершенно разные стратегии: активация ритмики в определенном частотном диапазоне или ее подавление. Чаще всего в начале тренировки определяют текущее значение амплитуды спектра и берут это значение как пороговое. Далее в процессе тренировки спортсмен наблюдает за изменением амплитуды определенной ритмики и в зависимости от цели тренировки старается повысить или понизить ее уровень относительно порогового значения. Существуют также тренировки со звуковой обратной связью, когда спортсмен слышит приятные или неприятные звуки в зависимости от успешности тренировки. БОС-тренинг может быть реализован в виде игрового интерфейса (Джафарова и др., 2000).

Наибольший опыт применения БОС-технологий накоплен при их использовании в клинике (Трофимова и др., 2018), например, для восстановления моторных навыков у постинсультных пациентов или для снижения проявлений синдрома дефицита внимания и эпилепсии. В ряде случаев технология реализована в виде нейрокомпьютерного интерфейса, связывающего изменения физиологических показателей с управляющими командами для печати текста или управления экзоскелетом (Каплан и др., 2016). Опыт применения нейробиоуправления в спорте не столь обширен, более противоречив и в основном базируется на эмпирическом подборе параметров (Mirifar et al., 2017). Тем не

менее, в условиях жесткого противодействия применению химических препаратов для улучшения результативности, метод представляется крайне перспективным. Это определяет широкий интерес к БОС-технологиям как в спорте высших достижений (Blumenstein, Orbach, 2014), так и при работе с юношескими командами (Квитчастый и др., 2013). Одним из первых видов спорта, в котором применение нейробиоуправления дало свои плоды, была стрельба из лука (Landers et al., 1991). К настоящему времени разработаны методики для применения БОС в пулевой стрельбе (Harkness, 2008; 2009; Rostami et al., 2012), гольфе (Arns et al., 2008; Cheng et al., 2015), футболе (Wilson et al., 2006), плавании (Faridnia et al., 2012), гимнастике (Shaw et al., 2012), боевых искусствах (Mikicin et al., 2015), спортивных танцах (Raymond et al., 2005) и других видах спорта.

Большинство БОС-тренингов направлено на достижение спортсменом оптимального функционального состояния. Повысить уровень спортивных результатов можно двумя способами: во-первых, с помощью умения регулировать эмоциональный аспект своего состояния, и, во-вторых, — посредством контроля его когнитивной составляющей. Наиболее распространенные практики связаны с обучением спортсмена контролировать свое эмоциональное состояние в день старта и непосредственно перед ним. Высокая мотивация может привести к чрезмерно высокой степени активации нервной системы и снижению результативности выступления. БОС позволяет наглядно продемонстрировать спортсмену уровень его активации и научиться его контролировать. В таком случае можно использовать методику, основанную, например, на повышении мощности альфа-диапазона ЭЭГ с одновременным снижением амплитуды миограммы, реализованную в программно-аппаратном комплексе «БОСЛАБ» (Новосибирск). Необходимо отметить, что при

решении данной задачи хорошо, а иногда даже эффективнее работают методы, основанные на вегетативных показателях, например, методика резонансного дыхания, входящая в комплект методик прибора ProComp-Infinity⁵, методический комплекс Neuroplus итальянских авторов (Rusciano, Corradini, Stoianov, 2017) или игровые методики, входящие в состав отечественного комплекса «БОС-пульс» (Новосибирск). Можно повысить устойчивость эмоциональной реакции спортсмена на возможные ошибки. Примером такого подхода служит просмотр спортсменом своих неудачных выступлений с одновременной регистрацией кожно-гальванической реакции (Harkness, 2008, 2009).

Для тренировки когнитивной составляющей в основном используют БОС на основе параметров ЭЭГ. Под регуляцией когнитивной составляющей состояния здесь имеются в виду процессы распределения и концентрации внимания, а также детальность восприятия окружающих объектов. В этом смысле одними из самых исследованных видов спорта являются пулевая стрельба и стрельба из лука. Дело в том, что стрелок, особенно в пулевой стрельбе, во время прицеливания стоит (или лежит) неподвижно, в результате чего мышечное напряжение становится приемлемым для качественной регистрации ЭЭГ. Условия регистрации способствуют минимизации низкочастотных и высокочастотных артефактов, связанных с движениями, качанием проводов и электрической активностью мышц.

АЛЬФА-АКТИВНОСТЬ И УРОВЕНЬ КВАЛИФИКАЦИИ В ТОЧНОСТНЫХ ВИДАХ СПОРТА

Еще в 1982 г. была опубликована работа Д. Хатфилда и коллег (Hatfield et al., 1982), в которой была продемонстриро-

вана межполушарная асимметрия альфа-ритма в височных отведениях в период, предшествующий выстрелу. Последующие работы (Hatfield et al., 1984, 2004; Kerick et al., 2001, 2004) показали, что соотношение выраженности альфа-активности в отведениях Т4:Т3 изменяется характерным образом именно при стрельбе. При других видах деятельности у тех же испытуемых наблюдается иная картина. Сходные данные, полученные при стрельбе из лука (Salazar et al., 1990), стали основанием для эксперимента с нейробиоуправлением, который дал положительный результат (Landers et al., 1991). Тренинг проводили в двух группах лучников. В одной из групп тренинг был направлен на увеличение альфа-активности в левом височном отведении (Т3) в период, предшествующий выстрелу, в другой группе — на повышение альфа-активности в правом височном отведении (Т4). В результате тренинга результативность в первой группе лучников достоверно возросла, тогда как во второй группе ухудшилась.

Ряд авторов (Haufler et al., 2000; Harkness, 2008, 2009) объясняет полученный феномен тем, что в левой височной доле находится речевая зона Брока, которая при отсутствии внутреннего монолога генерирует альфа-активность. Сравнение группы новичков и опытных стрелков показало, что альфа-активность перед выстрелом характерна лишь для стрелков высшей квалификации, причем она выражена не только в левом височном отведении. Так, когда во время стрелкового упражнения ЭЭГ регистрировали в 10 отведениях (F3, F4, C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1, O2), мастера демонстрировали перед выстрелом более выраженную альфа-активность во всех отведениях по сравнению с новичками, у которых была обнаружена депрессия альфа-ритма (Haufler et al., 2000).

Последующие работы подтвердили эти данные (Napalkov et al., 2006), что дало повод для более широкого использования

⁵ Прибор выпускается американской фирмой Thought Technology, Ltd.

тренингов, направленных на повышение альфа-диапазона ЭЭГ в период подготовки к выстрелу. Примером служит подготовка чемпиона Олимпиады — 2008 в стрельбе из пневматической винтовки Абины Биндра (Harkness, 2008, 2009). Наряду с использованием вегетативных показателей при подготовке применяли и нейробиоуправление, на которое было затрачено 80 часов. Для подавления внутреннего монолога тренинг был начат с повышения амплитуды низкочастотного альфа-диапазона в отведении Т3 от левой височной коры. Проведенный после Олимпиады анализ показал, что данный вид тренинга был наиболее эффективным. На следующем этапе тренинг был направлен на увеличение выраженности частотных полос 10–12 Гц, 12–15 Гц и 15–18 Гц в отведениях Cz, Pz и Oz. Основной задачей было найти равновесное состояние, в котором стрелок был бы максимально расслаблен, чтобы отсутствовало дрожание во время прицеливания, и в то же время достаточно активен, чтобы нажать на спуск в нужный момент. Наиболее комфортными для спортсмена были тренировки по повышению выраженности частотной полосы 10–13 Гц в отведении Pz, но он также смог добиться существенного увеличения выраженности полосы 15–18 Гц в отведении Cz. Тренировкам в этой полосе частот уделяли особое внимание, так как Биндра находил состояние, достигаемое в результате БОС-тренинга, наиболее похожим на соревновательное. Кроме того, тренировали снижение мощности бета-ритма (22–26 Гц и 26–30 Гц). Использовали и количественный анализ ЭЭГ, который выявил десинхронизацию, связанную с событием (ERD) во время нажатия на спуск в отведении Т3 (Harkness, 2008). Необходимо отметить вовлеченность самого спортсмена в подбор оптимальных параметров тренировки и индивидуальную работу, учитывающую все особенности спортсмена. Именно эти факторы лежат в основе успеха любого тренинга с нейробиоуправлением.

Как и следовало ожидать, выраженная альфа-активность перед выполнением сложного точностного действия была выявлена не только при стрельбе. У высококлассных игроков в гольф и в крикет во время расчета удара по мячу наблюдали увеличение мощности альфа-активности в левом полушарии. При этом она была тем больше, чем успешнее был удар по мячу (Hatfield et al., 2004; Taliep, Lester, 2014). Тренинг, направленный на увеличение выраженности альфа-диапазона перед ударом, также дал положительные результаты (Cheng et al., 2015)⁶. Кроме альфа-активности, в работе с гольфистами использовали и фронто-медиальный тета-ритм (4–8 Гц), но тренинг был направлен, наоборот, на снижение амплитуды сигнала в указанном диапазоне в отведении Fz, что привело к увеличению точности удара (Kao et al., 2014).

Несмотря на множество работ, подтверждающих эффективность альфа-тренинга у стрелков, лучников, гольфистов и даже музыкантов, нет однозначного понимания того, почему это происходит. Как известно, альфа-ритм считается ритмом холостого хода в зрительной системе, а мю-ритм — в сенсомоторной. С этой точки зрения выраженная альфа-активность перед выстрелом представляется парадоксальной (Shaw, 1996). Она наблюдается в период максимально сосредоточенной работы мозга, определяющей успешность действия: стрелок поднимает оружие, задерживает дыхание, совмещает прицельные приспособления с мишенью, достигает наибольшей устойчивости системы «тело — оружие» и нажимает на спусковой крючок. Казалось бы, никаких проявлений альфа- и мю-ритма в ЭЭГ в этот момент быть не должно, что мы и видим у но-

⁶ Интересно, что БОС-тренинг, направленный на увеличение альфа-активности и мю-ритма, ведет у профессиональных музыкантов к улучшению исполнения музыкальных произведений (Базанова, Штарк, 2004).

вичков. Новые исследования (Pereira et al., 2018) показывают, что чем больше депрессия в диапазоне от 8 до 12 Гц, тем точнее новички стреляют. Совершенно иная картина наблюдается у опытных спортсменов. Возникает вопрос: включаются ли у стрелков высшей квалификации при прицеливании какие-то особые механизмы генерации альфа-ритма или же происходит лишь усиление работы механизмов, которые активны, например, в спокойном бодрствовании с закрытыми глазами? Исследования с участием стрелков Национальной сборной России по пулевой стрельбе (Напалков и др., 2009, 2013) показали, что во время подготовки к выстрелу пик альфа-активности стрелка смещается за пределы диапазона его альфа-ритма и достигает 13–14 Гц. Это позволяет предположить отличное от классического понимания альфа-ритма функциональное значение наблюдаемой картины. Именно с высокочастотными составляющими альфа-диапазона ЭЭГ многие авторы (Klimesch et al., 2007; Jensen et al., 2010) связывают активное ограничение сенсорного потока и подавление irrelevantной в данный момент информации. Целью такого торможения является увеличение помехоустойчивости процедурной памяти, вовлеченной в сенсорно-моторную интеграцию⁷.

На примере точностных видов спорта можно рассмотреть и другой актуальный для практики нейробиоуправления вопрос. Как отмечалось, новички лучше

стреляют при полностью заторможенном альфа-ритме (Pereira et al., 2018), а стрелки высшей квалификации — при выраженной альфа-активности на более высокой частоте (Напалков и др., 2013). Иными словами, в качестве опорного сигнала при БОС-тренингах, применяемых к спортсменам разного уровня, надо использовать разные протоколы тренировок с нейробиоуправлением, так как во время подготовки к выстрелу стрелки разной квалификации решают разные задачи. На начальных этапах обучения идет активное формирование собственно двигательных навыков — стрелок обучается принимать правильную изготовку, удерживать оружие и т.д. Чем сосредоточеннее и внимательнее будет стрелок, тем лучше получится выстрел и тем ниже будет уровень альфа- и мю-ритмов. Совсем иной представляется ситуация в случае, когда спортсмен уже достиг определенных высот мастерства и собственно двигательные навыки отшлифованы в результате многолетней практики. Представляется, что в этом случае наибольшее значение имеет работа, направленная не на моторное обучение, а на формирование оптимального функционального состояния. Для достижения выдающихся результатов надо добиться оптимальной организации и взаимодействия структур мозга, подавив «шум» от ненужной в данный момент активности. По-видимому, коррелятом такого состояния и является сдвиг частоты доминирующего ритма в более высокочастотную область (Напалков и др., 2013).

Формирование описываемого состояния, очевидно, представляет наибольшие трудности при переходе к высшим ступеням спортивного мастерства. Как правило, спортсмен формирует это состояние интуитивно, стараясь запомнить и воспроизвести те ощущения, которые соответствовали наиболее результативным выступлениям. Многие спортсмены, несмотря на интенсивные тренировки, не

⁷ По некоторым данным, альфа-ритм связан с относительно поздними этапами филогенеза и обеспечивается активностью так называемой дефолтной системы мозга (Knyazev et al., 2011). Повышенная альфа-активность перед выстрелом у опытных стрелков может отражать торможение обширных антидефолтных сетей мозга, функцией которых является переформатирование работы мозга для выполнения той или иной задачи (Velichkovsky et al., 2018). Для полного понимания нейрокогнитивных механизмов этого феномена потребуются дополнительные исследования с применением более мощных методов, чем регистрация ЭЭГ.

могут сформировать его самостоятельно, и рост их результативности останавливается. В данном случае тренировки с использованием нейробиоуправления могут оказаться особенно эффективными. С нейрокогнитивной точки зрения, было бы также интересно сопоставить оптимальное для совершения идеального выстрела состояние с состоянием «потока», подробно описанным в феноменологической психологии (Чиксентмихайи, 2011).

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ

Кроме альфа-диапазона, для БОС-тренингов используются и другие частотные диапазоны ЭЭГ. Их применение основано на наблюдаемых проявлениях этих ритмов при различных физиологических состояниях. Тета-ритм регистрируют при засыпании, при навигации в пространстве (Carlan et al., 2003), а также в задачах, зависящих от работы памяти (Smith et al., 1999) и распределения внимания (Smith et al., 2001). Бета-ритм связывают с вниманием, процессом поиска решения проблемы, а также с внешним фокусом внимания. Обилие парадигм, в которых можно получить тета- и бета-ритм, ведет к возникновению сложностей в определении причин их появления в общей картине активности головного мозга, поэтому протоколы многих тренингов формируются методом проб и ошибок. В настоящее время, как правило, используют комбинированные схемы тренировок, работая с несколькими частотными диапазонами одновременно. Так, ингибирование бета-диапазона одновременно с активацией мю-ритма в отведениях С3 и С4 приводило к увеличению точности стрельбы из винтовки (Rostami et al., 2012). В другой работе было показано, что подавление высокочастотного бета-ритма (22–26 Гц) и тета-ритма (4–7 Гц) при активации мю-ритма в Сз не ведет к изменениям результативности стрельбы из лука

(Paul et al., 2011). Кроме того, отмечалось, что увеличение амплитуды тета-ритма и уменьшение амплитуды альфа-активности в области вертекса (Pz) коррелировало с увеличением результативности в танцах (Raymond et al., 2005), однако тот же самый протокол, использованный в другой работе с участием профессиональных танцоров, не привел к положительным результатам (Gruzelier et al., 2014).

Таких противоречий в результатах использования нейробиоуправления достаточно много (Mirifar et al., 2017). Возможное объяснение лежит в области индивидуальных особенностей ритмики спортсменов и необходимости учета уровня спортивного мастерства при формировании протокола нейробиоуправления, о чем говорилось выше. Еще одна причина неоднозначности результатов заключается в отсутствии стандартизации метода как с электрофизиологической, так и с тренировочной точки зрения. Разные исследователи по-разному определяют частотные диапазоны: одни рассматривают альфа-диапазон в целом в полосе 8–11 Гц (Gruzelier et al., 2014), другие могут его сужать, например, до высокочастотного сегмента 10–12 Гц (Ring et al., 2015). Отсутствует стандартизация количества и продолжительности тренировочных сессий. Многие исследователи проводят сессии по 20–30 мин (Raymond et al., 2005), у других время проведения варьирует от 15 мин до 1 часа (Mirifar et al., 2017). Проблематично и отсутствие системы по определению периодичности тренировок с БОС. Наконец, неоднозначность результатов нейрофидбэка связана с неполным пониманием механизмов, лежащих в основе генерации даже основных видов активности головного мозга.

Примечательно, что наиболее яркие примеры успешной работы с БОС описывают именно индивидуальные случаи, а работы, проводимые по клиническим правилам с использованием контрольных

групп, не демонстрируют ярких результатов (Mirifar et al., 2017). Это может быть связано с тем, что именно индивидуально подобранный протокол БОС-тренинга с учетом индивидуальных особенностей ритмики спортсмена, уровня спортивного мастерства, особенностей реакции на предстартовую ситуацию и т.д. дает результат, а стандартные тренировки, примененные по шаблону к большой группе вроде бы однородных людей, — нет. В клинической практике ситуация несколько иная, и групповые исследования показывают лучший эффект БОС-тренингов, хотя и здесь индивидуальный подход крайне важен (Трофимова и др., 2018).

Основной прикладной задачей для развития технологии БОС является ее интеграция в тренировочный процесс. В основном ее применяют в лабораториях, при этом не вполне понятно, насколько спортсмен выигрывает от использования навыков работы со своим состоянием непосредственно в условиях соревнований. Самые масштабные программы используют так называемые Mind Rooms. Это специально оборудованные комнаты, в которых БОС-тренинги проводят, как правило, с помощью мультимодального устройства ProComp-Infinity, позволяющего проводить тренировки на основе контроля частоты сердечных сокращений, вариабельности ритма сердца, частоты дыхания, мышечного напряжения, кожной проводимости и температуры, а также ЭЭГ. Такие тренировки часто интегрированы в программы подготовки национальных сборных и представляют большой интерес, однако, применяемые в Mind Rooms методики являются коммерческой тайной и не доступны для публикаций (Wilson et al., 2006). По этой причине работы, проводимые с использованием данной технологии, ограничиваются поверхностным описанием БОС — упоминанием модальности тренингов и общим описанием тестирования. Так, при трехлетней подготовке канадской

сборной по шорт-треку к Олимпийским играм в Ванкувере в 2010 г. применяли БОС-тренинг для корректировки состояния спортсменов во время стрессовых ситуаций (тест Струпа, математический тест, игровой тест), а также при моделировании старта. Кроме того, альфа-тренинг на основе ЭЭГ применялся для снижения тревожности (Beauchamp et al., 2012).

Несмотря на внедрение БОС-тренингов в программы подготовки сборных, нерешенной остается проблема интеграции технологии непосредственно в условия спортивной деятельности. С этой точки зрения интерес представляют методики, разработанные группой Б. Блюменштейна: The Wingate 5-Step Approach (W5SA) и Learning-Modification-Application approach (LMA). Первая методика состоит из пяти этапов и направлена на постепенное внедрение технологии в спортивную деятельность: два последних этапа тренировочного процесса с БОС проводятся на месте соревнований (Blumenstein, Orbach, 2014). В течение программы происходит комбинация БОС с психологическими упражнениями на саморегуляцию, концентрацию, внутреннюю речь и расслабление. Затем происходит выбор оптимальной модальности обратной связи и проводится тренинг по регулированию состояния во время предъявления эмоциональных стимулов: как правило, звуков, характерных для соревновательной среды. Затем предъявляются видеофрагменты соревнований, в которых участвовал спортсмен, в том числе с показом совершенных им ошибок, приведших к ухудшению результата. В конечном счете, технологию интегрируют в условия спортивной деятельности и применяют перед разминкой, после тренировки в раздевалке и, наконец, непосредственно перед соревнованиями.

Особого внимания заслуживает методика LMA (Blumenstein, Orbach, 2012). Она состоит из трех стадий: обучение (learning), модификация (modification), приме-

нение (application). По мере прохождения спортсменом трех перечисленных стадий происходит увеличение силы эмоциональных стимулов, на фоне которых осуществляется тренировка по корректированию состояния. Так, на стадии обучения в качестве эмоциональных стимулов используют положительные или отрицательные комментарии, оценивающие успешность спортсмена в работе с БОС, на этапе модификации — ограничения по времени и наказание/вознаграждение за успешность тренинга. На этапе применения БОС-тренинг сочетают с аудио- и видеоматериалами соревновательной ситуации, которые являются, по мнению авторов, наиболее сильными эмоциональными стимулами (Blumenstein, Orbach, 2014). Возможна различная комбинация описанных этапов и тренировка непосредственно на месте соревнований.

Таким образом, управление состоянием спортсмена является перспективной областью исследований и разработок, перед которой, однако, стоят непростые задачи. В первую очередь необходимо научное понимание процессов, лежащих в основе применяемых методик. Решение этой проблемы осложняется стремительным развитием рынка нейротехнологий, в котором прикладная составляющая явно преобладает над фундаментальной. В результате исследователи, тренеры, спортивные психологи и физиологи получают в свое распоряжение инструмент без понимания принципов его работы. Вторая проблема связана с интеграцией БОС в программы подготовки и профессиональную деятельность спортсменов. Для мягкого и эффективного внедрения нейрокогнитивных технологий необходима поддержка со стороны спортивных федераций, а также обобщение и формализация опыта ведущих тренеров. Важной задачей оказывается объединение нейробиоуправления с технологиями виртуальной и дополненной реальности (виртуальности). Не стоит забы-

вать и о том, что эти технологии являются индивидуальными. Нет стандартизованного состояния, идеального для всех спортсменов. Для каждого человека оптимум функционирования сопровождается разным набором физиологических параметров. За счет встроенных обратных связей нейробиоуправление обладает высоким потенциалом адаптации к таким индивидуальным особенностям. Это делает его особенно интересным для использования в спорте высших достижений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье были рассмотрены три группы относительно новых технологий, которые начинают повсеместно использоваться при подготовке спортсменов. Их развитие связано с когнитивной революцией и широкой конвергенцией наук и технологий последних десятилетий. Как мы видели, эти технологии еще находятся в процессе становления, хотя их прикладной потенциал в среднесрочной перспективе исключительно высок. В качестве последнего замечания хотелось бы подчеркнуть, что когнитивные исследования междисциплинальны по происхождению, а также используемым в них методам и объяснительным схемам. Возникающие на их основе технологии являются самым новым и на сегодняшний день еще наименее зрелым примером конвергентных технологий. Однако одновременно когнитивные технологии обладают очень важным преимуществом. Дело в том, что они имеют непосредственное отношение к психологии и поведению человека, его восприятию себя и действительности, а также к общественной оценке тех или иных научных и технических нововведений как шанса для развития и стимулирующего вызова или как еще одной потенциальной угроза существующему положению дел. Поэтому появление прикладных когнитивных исследований как бы венчает процесс конвергенции наук

и технологий. Оно задает ему общепонятный смысл и приемлемую для общества гуманистическую перспективу.

1. *Базанова О.М., Штарк М.Б.* Биоуправление в оптимизации музыкальной деятельности // Бюллетень СО РАМН. 2004. №3. С. 114–122.
2. *Величковский Б.М.* и др. Управление «силой мысли»: На пути к новым формам взаимодействия человека с техническими устройствами / Величковский Б.М., Нуждин Ю.О., Свиригин Е.П., Строганова Т.А., Федорова А.А., Шишкин С.Л. // Вопр. психол. 2016. № 6. С. 79–88.
3. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2 т. М.: Академия, 2006.
4. *Величковский Б.М.* Исследование когнитивных функций и современные технологии // Вестн. РАН. 2010. № 80 (5–6). С. 440–446.
5. *Джафарова О.А.* и др. Игровое биоуправление как метод профилактики стресс-зависимых состояний / Джафарова О.А., Донская О.Г., Изарова И.О., Лазарева О.Ю., Шубина О.С. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2000. № 4 (18). С.12–15.
6. *Каплан А.Я., Жигульская Д.Д., Кирьянов Д.А.* Изучение возможности управления отдельными пальцами фантома кисти руки человека в контуре интерфейса мозг–компьютер на волне р300 // Вестн. Российского гос. мед. ун-та. 2016. № 2. С. 26–30.
7. *Квитчатый А.В.* и др. Эффективность ЭЭГ-БОС-тренинга у спортсменов, воспитанников училища олимпийского резерва / Квитчатый А.В., Бочавер К.А., Ковалева А.В., Касаткин В.Н. // Спортивный психолог. 2013. Т. 28. № 1. С. 46–51.
8. *Коновалова И.Э.* Генный допинг // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности / Под ред. А.А. Сукиасян. Уфа: Аэтерна, 2018. С. 209–214.
9. *Напалков Д.А., Ратманова П.О., Коликов М.Б.* Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка: методические рекомендации. М.: МАКС-Пресс, 2009.
10. *Напалков Д.А.* и др. Электроэнцефалографические корреляты оптимального функционального состояния головного мозга спортсмена в стрелковом спорте / Напалков Д.А., Ратманова П.О., Салихова Р.Н., Коликов М.Б. // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 2. № 2. С. 219–227.
11. *Трофимова А. К.* и др. Технологии биоуправления в системе клинко-психологической диагностики и нейрореабилитации / Трофимова А.К., Каютина Д.В., Исачев С.А., Чернов
- ризов А.М., Варако Н.А. // Вопр. психол. 2018. № 2. С. 111–121.
12. *Чиксентмихайи М.* Поток. Психология оптимального переживания. М.: Альпина нон-фикшн, 2011.
13. *Appelbaum L.G., Erickson G.* Sports vision training: A review of the state-of-the-art in digital training techniques // Intern. Rev. Sport and Exercise Psychol. 2018. N 11 (1). P. 160–189.
14. *Arns M.* et al. Golf performance enhancement and real-life neurofeedback training using personalized event-locked EEG profiles / Arns M., Kleinnijenhuis M., Fallahpour K., Breteler R. // J. Neurotherapy. 2008. V.11. P.11–18.
15. *Austen K.* What could derail the wearables revolution? // Nature. 2015. V. 525. P. 22–24.
16. *Beauchamp M.K., Harvey R.H., Beauchamp P.H.*, An integrated biofeedback and psychological skills training program for Canada's Olympic short-track speedskating team // J. Clin. Sport Psychol. 2012. N 6. P. 67.
17. *Blumenstein B., Orbach I.* Psychological skills in sport: Training and application. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 2012.
18. *Blumenstein B., Orbach I.* Biofeedback for sport and performance enhancement. Oxford: Oxford Univ. Press. 2014. DOI: 10.1093/oxford-hb/9780199935291.013.001.
19. *Boya M.* et al. Information acquisition differences between experienced and novice time trial cyclists / Boya M., Foulsham T., Hettinga F., Parry D., Williams E., Jones H., Sparks A., Marchant D., Ellison P., Bridge C., McNaughton L., Micklewright D. // Medicine and Science in Sports and Exercise. 2017. V. 49 (9). P. 1884–1898.
20. *Bridgeman B., van der Heijden A.H.C., Velichkovsky B.M.* A theory of visual stability across saccadic eye movements // Behav. and Brain Sci. 1994. V. 17 (2). P. 247–292.
21. *Caplan J.B.* et al. Human θ oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning / Caplan J.B., Madsen J.R., Schulze-Bonhage A., Aschenbrenner-Scheibe R., Newman E.L., Michael J. Kahana // J. Neurosci. 2003. V. 23 (11). P. 4726–4736; doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-11-04726.2003.
22. *Cheng M.Y.* et al. Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance / Cheng M.Y., Huang C.J., Chang Y.K., Koester D., Schack T., Hung T.M. // J Sport Exerc Psychol. 2015. V. 37(6). P. 626–36. doi: 10.1123/jsep.2015-0166.
23. *Chia J.S.* et al. Increased complexities in visual search behavior in skilled players for a self-paced aiming task / Chia J.S., Burns S.F., Barrett L.A., Chow J.Y. // Frontiers in Psychol. 2017. N 8. art. no. 987.

24. *Cuperus A.A., van der Ham I.J.M.* Virtual reality replays of sports performance: Effects on memory, feeling of competence, and performance // *Learning and Motivation*. 2016. V. 56. P. 48–52.
25. *Decroix M.* et al. Expert – non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing / *Decroix M., Wazir M.R.W.N., Zeuwts L., Deconinck F.F.J.A., Lenoir M., Vansteenkiste P.* // *Human Movement Sci.* 2017. V. 55. P. 229–239.
26. *Düking P.* et al. Integrated framework of load monitoring by a combination of smartphone applications, wearables and point-of-care testing provides feedback that allows individual responsive adjustments to activities of daily living / *Düking P., Achtzehn S., Holmberg H.-C., Sperlich B.* // *Sensors*. 2018. V. 18 (1632). P. 1–11.
27. *Düking P., Holmberg H.-C., Sperlich B.* The potential usefulness of virtual reality systems for athletes: A short SWOT analysis // *Frontiers in Physiol.* 2018. N 9. P. 128.
28. *Faridnia M., Shojaei M., Rahimi A.* The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers // *Annals of Biol. Res.* 2012. V. 3. P. 1020–1028.
29. *Fegatelli D.* et al. The use of eye tracking (ET) in targeting sports: A review of the studies on quiet eye (QE) / *Fegatelli D., Giancamilli F., Mallia L., Chirico A., Lucidi F.* // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2016. V. 55. P. 715–730.
30. *Gerig N.* et al. Missing depth cues in Virtual Reality decrease performance of three-dimensional reaching movements / *Gerig N., Mayo J., Baur K., Wittmann F., Riener R., Wolf P.* // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. V. 663. P. 113–123.
31. *Granåsen D.* Towards automated assessment of team performance by mimicking expert observers' ratings // *Cognition, Technology and Work*. 2018 (in press). P. 1–22. doi: 10.1007/s10111-018-0499-6.
32. *Gruzelier, J.* et al. Application of alpha/theta neurofeedback and heart rate variability training to young contemporary dancers: state anxiety and creativity / *Gruzelier J., Thompson T., Redding E., Brandt R., Steffert T.* // *Intern. J. Psychophysiol.* 2014. V. 93. P. 105–111.
33. *Gruzelier J.H.* EEG-neurofeedback for optimising performance. II: creativity, the performing arts and ecological validity // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2014. V. 44. P. 142–158.
34. *Harkness T.* Abhinav Bindra wins India's first ever individual Olympic Gold Medal // URL: <http://bfeorg.blogspot.com/2008/09/abhinav-bindra-wins-indias-first-ever.html>. 2008.
35. *Harkness T.* Psykinetics and Biofeedback: Abhinav Bindra wins India's first-ever individual Gold Medal in Beijing Olympics. // *Biofeedback*. 2009. V. 37. I. 2. P. 4852.
36. *Harris D.J., Vine S.J., Wilson M.R.* Flow and quiet eye: the role of attentional control in flow experience // *Cognitive Processing*. 2017. V. 18 (3). P. 343–347.
37. *Hatfield D.B.* et al. Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance / *Hatfield D.B., Haufler A.J., Hung T.-M., Spalding T.W.* // *J. of Clinical Neurophysiol.* 2004. V. 21. N 3. P. 144–156.
38. *Hatfield D.B., Landers D.M., Ray W.J.* Cognitive process during self-paced motor performance: an electroencephalographic profile of skilled marksmen. // *J. Sport Psychol.* 1984. V. 6. P. 42–59.
39. *Hatfield D.B.* et al. An electroencephalographic study of elite rifle shooters / *Hatfield D.B., Landers D.M., Ray W.J., Daniels F.S.* // *Am. Marksman*. 1982. N 7. P. 6–8.
40. *Haufler A.J.* et al. Neurocognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters / *Haufler A.J., Spalding T.W., Santa Maria D.L., Hatfield D.B.* // *Biol. Psychol.* 2000. V. 53. P. 131–160.
41. *Hoffmann C.P.* et al. Energy management using virtual reality improves 2000-m rowing performance / *Hoffmann C.P., Filippeschi A., Ruffaldi E., Bardi B.G.* // *J. Sports Sci.* 2014. V. 32 (6). P. 501–509.
42. *Hudson I., Hurter J.* Avatar types matter: Review of avatar literature for performance purposes // *Lecture Notes in Computer Sci.* 2016. V. 9740. P. 14–21.
43. *Hülsmann F.* et al. Multi-level analysis of motor actions as a basis for effective coaching in virtual reality / *Hülsmann F., Frank C., Schack T., Kopp S., Botsch M.* // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. V. 392. P. 211–214.
44. *Hurley O.A.* Sport cyberpsychology. L., N.Y.: Taylor and Francis, 2018.
45. *Iljukov S., Schumacher Y.O.* Performance profiling-perspectives for anti-doping and beyond // *Frontiers in Physiol.* 2017. N 8. art. no. 1102.
46. *Jensen O., Mazaheri A.* Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition // *Front. Hum. Neurosci.* 2010. V. 4. P. 186.
47. *Kao S.C., Huang C.J., Hung T.M.* Neurofeedback training reduces frontal midline theta and improves putting performance in expert golfers // *J. Applied Sport Psychol.* 2014. V. 26. P. 271–286.
48. *Kellar D.* et al. Comparing fMRI activation during smooth pursuit eye movements among contact sport athletes, non-contact sport athletes, and non-athletes / *Kellar D., Newman S., Pestilli F., Cheng H., Port N.L.* // *NeuroImage: Clin.* 2018. V. 18. P. 413–424.

49. Kerick S.E., Doudlass L.W., Hatfield B.D. Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice // *Med. and Sci. in Sports and Exercise*. 2004. V. 36. N. 1. P. 118–129.
50. Kerick S.E. et al. The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen / Kerick S.E., McDowell K., Hung T.-M., Santa Maria D.L., Spalding T.W., Hatfield B.D. // *Biol. Psychol.* 2001. V. 58. P. 263–277.
51. Kiefer A.W. et al. Less efficient oculomotor performance is associated with increased incidence of head impacts in high school ice hockey / Kiefer A.W., DiCesare C., Nalepka P., Foss K.B., Thomas S., Myer G.D. // *J. Sci. and Med. in Sport*. 2018. V. 21 (1). P. 4–9.
52. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis // *Brain Res. Rev.* 2007. V. 53. P. 63–68.
53. Klostermann A., Küng P. Gaze strategies in skateboard trick jumps: Spatiotemporal constraints in complex locomotion // *Res. Quart. for Exercise and Sport*. 2017. V. 88 (1). P. 101–107.
54. Knyazev G.G. et al. The default mode network and EEG α oscillations: an independent component analysis / Knyazev G.G., Slobodskoj-Plusnin J.Y., Bocharov A.V., Pylkova L.V. // *Brain Res.* 2011. V. 1402. P. 67–79. doi: 10.1016/j.brainres.2011.05.052.
55. Kredel R. et al. Eye-tracking technology and the dynamics of natural gaze behavior in sports: A systematic review of 40 years of research / Kredel R., Vater C., Klostermann A., Hossner E.-J. // *Frontiers in Psychol.* 2017. V. 8. art. no. 1845.
56. Lames M., Saupe D., Wiemayer J. (eds). *Proceedings of the 11th International symposium on computer science in sport (IACSS 2017)*. Konstanz, Sep 6, 2017 – Sep 9, 2017. Cham: Springer, 2018.
57. Landers D.M. et al. The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers / Landers D.M., Petruzzello S.J., Salazar W., Crews D.J., Kubitz K.A., Gannon T.L., Han M. // *Medicine and science in sports and exercise*. 1991. V. 23. P. 123–129.
58. Mallek M. et al. Sport expertise in perception–action coupling revealed in a visuomotor tracking task / Mallek M., Benguigui N., Dicks M., Thouvenecq R. // *Eur. J. Sport Sci.* 2017. V. 17 (10). P. 1270–1278.
59. Marques R. et al. The use of eye tracking glasses in basketball shooting: A systematic review / Marques R., Martins F., Mendes R., E Silva M.C., Dias G. // *J. Physical Educ. and Sport*. 2018. V. 18 (1), art. no. 23. P. 175–183.
60. Miah A. *Sport 2.0: Transforming sports for a digital world*. Cambridge, MA: MIT Press, 2017.
61. Mikic M. The autotelic involvement of attention induced by EEG neurofeedback training improves the performance of an athlete's mind. // *Biomed. Human Kinetics*, 2015. V.7. P. 58–65. DOI: 10.1515/bhk-2015-0010
62. Miles C.A.L. et al. Quiet eye training aids the long-term learning of throwing and catching in children: Preliminary evidence for a predictive control strategy / Miles C.A.L., Wood G., Vine S.J., Vickers J.N., Wilson M.R. // *Eur. J. Sport Sci.* 2017. V. 17 (1). P. 100–108.
63. Mirifar A., Beckmann J., Ehrlenspiel F. Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research // *Neurosci. and Biobehav. Rev.* URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.005>.
64. Napalkov D. et al. Aiming in sport shooting: An interaction between visual and somatosensory systems / Napalkov D., Kolikoff M., Ratmanova P., Shulgovsky V. // *Perception*. 2006. V. 35. Supplement. P. 189–190.
65. Neumann D.L., Moffitt R.L. Affective and attentional states when running in a virtual reality environment // *Sports*. 2018. N 6. P. 71. doi:10.3390/sports6030071.
66. Neumann D.L. et al. A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport / Neumann D.L., Moffitt R.L., Thomas P.R., Loveday K., Watling D.P., Lombard C.L., Antonova S., Tremer M.A. // *Virtual Reality*. 2017. V. 21 (1). P. 1–16.
67. Nickerson R.S. *Looking ahead: Human factors challenges in a changing world*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1992.
68. Panchuk D., Vickers J.N., Hopkins W.G. Quiet eye predicts goaltender success in deflected ice hockey shots // *Eur. J. Sport Sci.* 2017. V. 17 (1). P. 93–99.
69. Passos P., Campos T., Diniz A. Quantifying the degree of movement dissimilarity between two distinct action scenarios: An exploratory approach with Procrustes analysis // *Frontiers in Psychol.* 2017. N 8 (APR). art. no. 640.
70. Pataky T.C., Lamb P.F. Effects of physical randomness training on virtual and laboratory golf putting performance in novices // *J. Sports Sci.* 2018. V. 36 (12). P. 1355–1362.
71. Paul M., Ganesan S., Sandhu J.S. Effect of sensory motor rhythm neurofeedback on psychophysiological, electro-encephalographic measures and performance of archery players // *Ibnosina J. Med. and Biomed. Sci.* 2011. N 4. P. 32–39.
72. Pereira M. et al. Novice shooters with lower pre-shooting alpha power have better performance during competition in a virtual reality scenario / Pereira M., Argelaguet F., Millán J.R., Lécuyer A.

- // *Frontiers in Psychol.* 2018. V. 9. Iss. 12. art. no. 527
73. *Pizzera A., Möller C., Plessner H.* Gaze behavior of gymnastics judges: Where do experienced judges and gymnasts look while judging? // *Res. Quart. for Exercise and Sport.* 2018. V. 89 (1). P. 112–119.
 74. *Power P.* et al. "Not all passes are created equal:" Objectively measuring the risk and reward of passes in soccer from tracking data / Power, P., Ruiz, H., Wei, X., Lucey, P. // *Proc. ACM SIGKDD Intern. Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Part F129685.* P. 1605–1613. doi: 10.1145/3097983.3098051.
 75. *Railsback D., Caporusso N.* Investigating the human factors in e-sports performance // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2018. V. 795. P. 325–334.
 76. *Raymond J.* et al. Biofeedback and dance performance: A preliminary investigation / Raymond J., Sajid I., Parkinson L.A., Gruzelier J.H. // *Applied Psychophysiol. and Biofeedback.* 2005. V. 30. P. 65–73.
 77. *Renner R.S., Velichkovsky B.M., Helmert J.R.* The perception of egocentric distances in virtual environments: A review // *ACM Computing Surveys.* 2013. V. 46(2). Article number 23.
 78. *Ring C.* et al. Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in sport / Ring C., Cooke A., Kavussanu M., McIntyre D., Masters R. // *Psychol. of Sport and Exercise.* 2015. V. 16. P. 118–127.
 79. *Robertson P.J.* et al. Is visual search strategy different between level of judo coach when acquiring visual information from the preparation phase of judo contests? / Robertson P.J., Callan M., Nevison C., Timmis M.A. // *Intern. J. Sports Sci. and Coaching.* 2018. V. 13 (2). P. 186–200.
 80. *Rostami R.* et al. The effects of neurofeedback on the improvement of rifle shooters' performance / Rostami R., Sadeghi H., Karami K.A., Abadi M.N., Salamati P. // *J. Neurotherapy.* 2012. V. 16. P. 264–269.
 81. *Rusciano A., Corradini G., Stoianov I.* Neuroplus biofeedback improves attention, resilience, and injury prevention in elite soccer players // *Psychophysiol.* 2017. V. 54(6). P. 916–926.
 82. *Salazar W.* et al. Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers / Salazar W., Landers D.M., Petruzzello S.J., Han M.W., Crews D.J., Kubitz K.A. // *Res. Q Exerc. Sport.* 1990. V. 61. P. 351–359.
 83. *Shaw J.C.* Intention as a component of the alpha-rhythm response to mental activity // *Int. J. Psychophysiol.* 1996. V. 24. N 1–2. P. 7–23.
 84. *Shaw L., Zaichkovsky L., Wilson V.* Setting the balance: Using biofeedback and neurofeedback with gymnasts // *J. Clin. Sport Psychol.* 2012. V. 6. P. 47.
 85. *Smith M.E.* et al. Monitoring task loading with multivariate EEG measures during complex forms of human-computer interaction / Smith M.E., Gevins A., Brown H., Karnik A., Du R. // *Hum. Factors.* 2001. V. 43 (3). P. 366–380.
 86. *Smith M.E., McEvoy L.K., Gevins A.* Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. // *Brain. Res. Cogn. Brain Res.* 1999. V. 7 (3). P. 389–404.
 87. *Taliep M.S., Lester J.* Sport expertise: The role of precise timing of verbal–analytical engagement and the ability to detect visual cues // *Perception.* 2014. V. 43. P. 316–332. doi:10.1068/p7530.
 88. *Van Leeuwen P.M.* et al. Differences between racing and non-racing drivers: A simulator study using eye-tracking / Van Leeuwen P.M., De Groot S., Happee R., De Winter J.C.F. // *PLoS ONE.* 2017. V. 12 (11). art. no. e0186871.
 89. *Velichkovsky B.B., Rumyantsev M.A., Morozov M.A.* New solution to the Midas touch problem: Identification of visual commands via extraction of focal fixations // *Procedia Computer Sci.* 2014. V. 39. P. 75–82.
 90. *Velichkovsky B.B.* The relationship between interference control and sense of presence in virtual environments // *Psychol. in Russia: State of the Art.* 2017. V. 10(3). P. 165–176.
 91. *Velichkovsky B.M.* et al. Measurement-related issues in investigation of active vision / Velichkovsky B.M., Cornelissen F., Geusebroek J.-M., Graupner S.-Th., Hari R., Marsman J.B., Shevchik S.A. // Berglund B., Rossi G.B., Townsend J., Pendrill L. (eds). *Measurement with persons: Theory and methods.* L.; N.Y.: Taylor and Francis, 2012. P. 281–300.
 92. *Velichkovsky B.M., Hansen J.P.* New technological windows into mind: There is more in eyes and brains for human-computer interaction // *Proceedings of ACM CHI-96: Human factors in computing systems.* N.Y.: ACM Press, 1996. P. 496–503.
 93. *Velichkovsky B.M.* et al. Two visual systems and their eye movements: Evidence from static and dynamic scene perception / Velichkovsky B.M., Joos M., Helmert J.R., Pannasch S. // Bara B.G., Barsalou L., Bucciarelli M. (eds). *Proceedings of the XXVII Conference of the Cognitive Science Society.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2005. P. 2283–2288.
 94. *Velichkovsky B.M.* et al. Consciousness in a multilevel architecture: Evidence from the right side of the brain / Velichkovsky B.M., Krotkova O.A., Kotov A.A., Orlov V.A., Verkhlyutov V.M., Ushakov V.L., Sharaev M.G. // *Consciousness and Cognition.* 2018. doi: 10.1016/j.concog.2018.06.004.

95. *Vignais N.* et al. Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality / *Vignais N., Kulpa R., Brault S., Presse D., Bideau B.* // *Human Movement Sci.* 2015. V. 39. P. 12–26.
 96. *Vogel U.* et al. Bi-directional OLED microdisplay for interactive see-through HMDs: A study toward integration of eye-tracking and informational facilities / *Vogel U., Kreye D., Richter B., Bunk G., Reckziegel S., Herold R., Scholles M., Törker M., Grillberger C., Amelung J., Graupner S.-T., Panasch S., Heubner M., Velichkovsky B.M.* // *J. Society for Information Display.* 2009. V. 17 (3). P. 175–184.
 97. *Wilson V.E., Peper E., Moss D.*, “The Mind Room” in Italian Soccer Training: The use of biofeedback and neurofeedback for optimum performance // *Biofeedback.* 2006. V.34. P. 79–81
 98. *Zhang L.* et al. KaraKter: An autonomously interacting Karate Kumite character for VR-based training and research / *Zhan L., Brunnett G., Petri K., Danneberg M., Masik S., Bandow N., Witte K.* // *Computers and Graphics.* 2018. V. 72. P. 59–69.
- References in Russian:**
1. *Bazanov O.M., Shtark M.B.* Bioupravlenie v optimizacii muzykal'noj deyatel'nosti [Biocontrol in optimizing music performance] // *Byulleten' SO RAMN.* 2004. N 3 S. 114–122.
 2. *Velichkovsky B.M.* i dr. Upravlenie «siloy my'sli»: Na puti k novy'm formam vzaimodejstviya cheloveka s texnicheskimi ustroystvami [On the way towards new forms of interaction between humans and technical devices] / *Velichkovsky B.M., Nuzhdin Yu.O., Svirin E.P., Stroganova T.A., Fedorova A.A., Shishkin S.L.* // *Voprosy psixologii.* 2016. N 6. S. 79–88.
 3. *Velichkovsky B.M.* Kognitivnaya nauka: Osnovy psixologii poznaniya [Cognitive science: Foundations of epistemic psychology]. V 2 t. M.: Akademiya, 2006.
 4. *Velichkovsky B.M.* Issledovanie kognitivny'x funkcij i sovremennye tehnologii [Studying cognitive function and contemporary technologies] // *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk.* 2010. N 80 (5–6). S. 440–446.
 5. *Dzhafarova O.A.* i dr. Igrovoe bioupravlenie kak metod profilaktiki stress-zavisimy'x sostoyanij [Biocontrol realized in form of a game as a method for prophylaxis of stress-dependent states] / *Dzhafarova O.A., Donskaya O.G., Izarova I.O., Lazareva O.Yu., Shubina O.S.* // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Texnicheskie nauki.* 2000. N 4(18). S.12–15.
 6. *Kaplan A.Ya., Zhigul'skaya D.D., Kir'yanov D.A.* Izuchenie vozmozhnosti upravleniya ot del'ny'mi pal'czami fantoma kisti ruki cheloveka v konture interfejsa mozg–komp'yuter na volne p300 [Studying the ability to control human phantom fingers in P300 brain-computer interface] // *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta.* 2016. N 2. S. 26–30.
 7. *Kvitchastyj A.V.* i dr. Effektivnost' E'EG-BOS-treninga u sportsmenov, vospitannikov uchilishha olimpijskogo rezerva [On the efficiency of EEG-biofeedback-training in sportsmen of Olympic reserve] / *Kvitchastyj A.V., Bocharov K.A., Kovalova A.V., Kasatkin V.N.* // *Sportivnyj psixolog.* 2013. T.28. N 1. S. 46–51.
 8. *Konovalova I.E.* Gennyj doping [Genomic doping] // *Sintez nauki i obshchestva v reshenii global'ny'x problem sovremennosti* / Pod red. A.A. Sukiasjan. Ufa: Ae'terna, 2018. S. 209–214.
 9. *Napalkov D.A., Ratmanova P.O., Kolikov M.B.* Apparatnye metody diagnostiki i korrekcii funkcional'nogo sostoyaniya strelka: metodicheskie rekomendacii [Instrumental methods for correction of shooters' functional state: methodological recommendations]. M.: MAK-S-Press, 2009.
 10. *Napalkov D.A.* i dr. E'lektroencefalograficheskie korrelyaty optimal'nogo funkcional'nogo sostoyaniya golovnogogo mozga sportsmena v strelkovom sporte [Electroencephalographic correlates of brain's optimal state in sportsmen in shooting sport] / *Napalkov D.A., Ratmanova P.O., Salixova R.N., Kolikov M.B.* // *Byulleten' sibirskoj mediciny.* 2013. T. 12. N 2. S. 219–227.
 11. *Trofimova A. K.* i dr. Tehnologii bioupravleniya v sisteme kliniko-psixologicheskoy diagnostiki i nejroreabilitacii [Biocontrol technologies in the system of clinical and psychological diagnostics and neurorehabilitation] / *Trofimova A.K., Kayutina D. V., Isajchev S. A., Chernorizov A.M., Varako N.A.* // *Voprosy psixologii.* 2018. T. 2. S. 111–121.
 12. *Csikszentmihalyi M.* Potok. Psixologiya optimal'nogo perezhivaniya [Flow: The psychology of optimal experience] / N.Y.: Harper and Row, 1990, P. 303]. M.: Al'pina non-fikshn, 2011.

Поступила в редакцию 27. VIII 2018 г.