

ПСИХОЛОГИЯ — ПРАКТИКЕ / PSYCHOLOGY TO PRACTICE

Научная статья / Research Article

<https://doi.org/10.11621/LPJ-24-52>

УДК/UDC 612.821

Особенности мозговой активности хоккеистов и борцов вольного стиля в задаче по отбиванию шайб в условиях виртуальной реальности

И.С. Поликанова¹ ✉, С.В. Леонов^{1,2}

¹ Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ irinapolikanova@mail.ru

Резюме

Актуальность. Изучению мозговой активности атлетов в динамичных видах спорта, в частности в хоккее, посвящено крайне мало работ. Это связано со сложностью регистрации электрофизиологических параметров во время движений: много артефактов, технические трудности с оборудованием, невозможность воссоздания одинаковых экспериментальных условий для разных испытуемых.

Цель. Целью работы было исследовать электроэнцефалографические маркеры (мощность в альфа-, бета- и тета-диапазонах ЭЭГ, а также индивидуальный альфа-ритм (ИАР)) во время выполнения задачи по отбиванию шайб различной сложности в условиях виртуальной реальности у хоккеистов в сравнении с контрольной группой борцов вольного стиля.

Выборка. 22 спортсмена мужского пола, из них 12 — хоккеисты ($M_{\text{возраст}} = 20$ лет, $SD = 2,4$ года).

Методы. Использовалась разработанная ранее технология VR-PACE, которая позволяет отрабатывать навыки отражения шайб в хоккее в условиях виртуальной реальности (VR). Шайбы предьявлялись блоками (всего пять блоков), сложность увеличивалась от 1-го к 4-му блоку, в блоке 5 испытуемые только наблюдали за шайбами. Запись ЭЭГ проводилась с использованием беспроводного электроэнцефалографа BrainScanner V3.1 (research edition) фирмы «NeuroDrive» на протяжении всего задания, анализ проводился по 20-секундным отрезкам в каждом блоке и в каждом из фонов (до и после).

Результаты. Выявлены межгрупповые различия и различия между условиями «до» и «после» эксперимента по показателям ИАР, а также по мощности

тета-, альфа- и бета-ритмов. Обе группы демонстрируют схожий тренд после эксперимента: снижение ИАР, увеличение мощности альфа-ритма в центральных и теменных отведениях, а также снижение в затылочных; снижение мощности тета-ритма в лобных и затылочных отведениях; снижение бета-ритма. У хоккеистов наблюдалось больше значимых изменений, указывающих на бдительность и внимание (тета-, альфа-, бета-ритмы) и на расслабление (мю-ритм).

Выводы. В исследовании были изучены электроэнцефалографические корреляты (ИАР, мощность в альфа-, бета- и тета-диапазонах ЭЭГ) у хоккеистов и борцов вольного стиля во время выполнения задачи по отбиванию шайбы в VR. Динамика показателей ЭЭГ говорит о более эффективной работе мозга у хоккеистов при выполнении задачи по отбиванию шайбы в условиях виртуальной реальности, подтверждая гипотезу нейронной эффективности.

Ключевые слова: хоккей, ЭЭГ, виртуальная реальность, VR, отражение шайбы, успешность в хоккее, ритмы ЭЭГ, новички, эксперты

Финансирование. Работа выполнена в лаборатории конвергентных исследований когнитивных процессов ФНЦ ПМИ, созданной в рамках конкурса Минобрнауки России.

Для цитирования: Поликанова, И.С., Леонов, С.В. (2024). Особенности мозговой активности хоккеистов и борцов вольного стиля в задаче по отбиванию шайб в условиях виртуальной реальности. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 47(3), 249–280. <https://doi.org/10.11621/LPJ-24-52>

Investigation of EEG Parameters in Virtual Reality Puck Shooting Task in Hockey Players and Freestyle Wrestlers

I.S. Polikanova ¹✉, S.V. Leonov ^{1,2}

¹ Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ irinapolikanova@mail.ru

Abstract

Background. Very scarce works are devoted to the study of hockey players' brain activity, which is connected, among other things, with the large amount of motor activity in athletes and the complexity of EEG registration.

Objective. The aim of the study was to investigate electroencephalographic markers (in alpha, beta, and theta EEG bands) during a puck kicking task of varying difficulty under virtual reality conditions in ice hockey players compared to freestyle wrestlers.

Methods. The previously developed VR-PACE technology was used for the study, which allows practicing puck reflection skills in hockey in a virtual scene. In the study, pucks were presented in blocks (five blocks in total), the difficulty increased from block 1 to block 4, in block 5 the subjects only observed the pucks. EEG recordings were made using a wireless electroencephalograph BrainScanner V3.1 (research edition) by “NeuroDrive” throughout the entire task, analyzed by 20-second segments in each block and in each of the backgrounds (before and after). Twenty-two male subjects (average age=20, SD=2.4 years) participated in the study.

Results. The results showed significant differences between the groups, as well as significant within-group differences between the “before” and “after” conditions of the experiment in terms of the Individual Alpha Frequency (IAF), as well as the average and total power of theta, alpha, and beta rhythms. The overall trend in both groups is similar (after the experiment, there is a decrease in IAF, an increase in alpha rhythm power in central and parietal electrodes, and a decrease in occipital electrodes; a decrease in theta rhythm power in frontal and occipital electrodes; and a decrease in beta rhythm across all electrodes). However, the hockey group exhibits significantly more pronounced shifts in EEG, indicating greater alertness and attention (higher powers of theta, alpha, and beta rhythms both before and after the experiment), as well as greater relaxation (higher power of mu rhythm after the experiment).

Conclusions. The study examined the electroencephalographic correlates (IAF, power in the alpha, beta, and theta frequency bands of EEG) in hockey players and freestyle wrestlers while performing a task of deflecting a puck in virtual reality (VR). The dynamics of the EEG indicators indicate more efficient brain function in hockey players when performing the puck reflection task in a virtual reality setting, confirming the hypothesis of neural efficiency.

Keywords: hockey, EEG, virtual reality, VR, puck reflection, hockey success, EEG rhythms, rookies, experts

Funding. The work was carried out in the Laboratory of Convergent Research of Cognitive Processes of the Federal Scientific Centre for Psychological and Multi-disciplinary Research, created as part of a competition, announced by the Russian Ministry of Education and Science.

For citation: Polikanova, I.S., Leonov, S.V. (2024). Investigation of EEG parameters in virtual reality puck shooting task in hockey players and freestyle wrestlers. *Lomonosov Psychology Journal*, 47(3), 249–280. <https://doi.org/10.11621/LPJ-24-52>

Введение

Хоккей относится к видам спорта, где профессионально важные качества (ПВК) включают наравне с высокими требованиями к физической и технической подготовке спортсменов также и значительное развитие когнитивных функций (Bishop et al., 2003; Wilson et al., 2010). Для достижения высоких результатов хоккеист должен в совершенстве владеть всем многообразием технических приемов, которые, в свою очередь, предъявляют определенные требования к физическим возможностям и резервам организма. В связи с высочайшей концентрацией на протяжении всей игры, обусловленной удержанием внимания на комплексе динамических факторов (положение игроков на поле, траектория шайбы, счет игры, стратегия игры и др.), не менее важное значение имеют и когнитивные способности хоккеистов (Поликанова и др., 2022; Polikanova et al., 2022; Леонов и др., 2022). Подобные виды спорта отличаются крайне высокой степенью неопределенности, большим количеством сложных комбинаторных ситуаций.

Полноценные и регулярные тренировки развивают технические и когнитивные навыки у спортсменов. Однако в хоккее не всегда есть возможность полноценно тренироваться в силу ограниченного доступа ко льду и не только. Виртуальная реальность (ВР), или virtual reality (VR), позволяет частично преодолеть это препятствие. Кроме того, технологии ВР предлагают новые подходы для изучения восприятия и действий спортсменов. Они позволяют исследовать когнитивные процессы во время активности, в том числе спортивной, что повышает экологическую валидность.

Исследования с применением ВР в хоккее немногочисленны. Например, в исследовании Бунса (Buns, 2020) было показано, что отработка хоккейных элементов в виртуальной среде влияет на эффективность тренировок в реальном мире. В исследовании Тайремана и коллег показано, что в смоделированной трехмерной среде вратари применяют стратегию, учитывающую тип броска и траекторию шайбы после ее отлета от клюшки игрока, а не просто используют открытый или закрытый прием (Tureman et al., 2008). Кац и Тайреман с коллегами предполагают, что виртуальные среды, несмотря на всю их сложность и дороговизну, имеют невероятный потенциал для изменения подхода тренеров и спортсменов к тренировкам и результатам. Будущее развитие ВР-систем будет включать в себя многие аспекты мониторинга, управления и тренировок (Katz et al., 2006).

При исследовании мозговой активности у спортсменов важно понимать, какие мозговые процессы связаны с успешным выполнением того или иного спортивного действия. Профессиональных атлетов в первую очередь отличает высокая слаженность, точность и стабильность выполнения спортивных действий (в том числе при различных условиях среды), уменьшение мышечной активности и общей активности мозга, необходимой для выполнения действия (Milton et al., 2007). На основе этих наблюдений была предложена теория экономизации усилий у профессионалов (Babiloni et al., 2008; 2010; Del Percio et al., 2011a; Singer et al., 2001). Она получила наибольшее развитие в исследованиях спортсменов-стрелков (Cheng et al., 2015; Gong et al., 2017). Изучению мозговой активности хоккеистов посвящено крайне мало работ.

Одним из наиболее изученных ритмов ЭЭГ является альфа-ритм — основной ритм спокойного бодрствования человека (Goljahani et al., 2012). На ЭЭГ в спокойном состоянии обычно хорошо видно его отдельный пик на частоте 8–14 Гц. Пиковая альфа-частота (peak alpha frequency, PAF), или индивидуальный альфа-ритм (ИАР, Individual alpha frequency (IAF)), представляет собой дискретную частоту с наибольшей величиной в альфа-диапазоне (Angelakis et al., 2004). ИАР имеет высокую интраиндивидуальную стабильность, а также достаточно сильную вариацию между отдельными людьми и изменчивость с возрастом (Klimesch, 1999). ИАР также коррелирует с индивидуальными различиями в когнитивной деятельности и когнитивных способностях (Klimesch et al., 1993; Grandy et al., 2013). Люди с высокими мнестическими способностями и высокой скоростью обработки информации характеризуются частотой альфа-пика в среднем на 1 Гц большей по сравнению с контрольной группой (Vogt et al., 1998; Klimesch et al., 1996; 1997).

В работе Кристи и коллег было проведено изучение различных вариаций ИАР у хоккеистов в зависимости от уровня мастерства (Christie, 2017). Результаты исследования не выявили значительных различий в показателе индивидуального альфа-ритма в фоне у хоккеистов до и после спортивной задачи по отражению шайб. Авторы отметили необходимость изучения ЭЭГ-индикаторов непосредственно во время спортивной деятельности, сравнения спортсменов с новичками, а также сравнения задач с разным уровнем сложности.

В работе Чжан с коллегами исследовалась связь ИАР у профессиональных хоккеистов и хоккеистов среднего уровня во время выполнения задачи одновременного отслеживания на экране не-

скольких объектов (Zhang et al., 2021). Авторы показали, что элитные спортсмены характеризовались более высокой точностью отслеживания цели, а также более высоким ИАР как с открытыми, так и с закрытыми глазами, до и после выполнения задачи.

Еще в одном исследовании Кристи с коллегами изучались процессы десинхронизации и синхронизации, связанные с событиями, у хоккеистов в задаче по забиванию шайбы в определенные мишени. В данном исследовании была показана десинхронизация в альфа-, тета- и нижнем бета-диапазонах перед выполнением броска с последующей синхронизацией после появления целевого сигнала (Christie et al., 2019).

Ритмом ЭЭГ с идентичной альфа-ритму частотой является сенсомоторный ритм (СМР), или мю-ритм. Он наблюдается в сенсомоторной области коры головного мозга на частоте 7–12 Гц и характеризуется десинхронизацией при выполнении движений, а также при их представлении или поступлении кинестетических раздражителей (Напалков и др., 2009). В отличие от альфа-ритма, мю-ритм слабо реагирует или вообще не реагирует на открывание глаз. Депрессия этого ритма наблюдается при поступлении кинестетических раздражителей или выполнении движений. Подавление мю-ритма более заметно в полушарии, контрлатеральном стимулируемому. Мю-ритм хорошо выражен только у 3% испытуемых (Напалков и др., 2009). Чаще он наблюдается у спортсменов. К примеру, исследование с метанием дротиков показало значительно более высокую мощность СМР перед броском дротика у экспертов, чем у новичков, что говорит о меньшей соматосенсорной интерференции при обработке двигательной активности и меньших затратах внимания у экспертов во время выполнения упражнения (Cheng et al., 2015). СМР также участвует в освоении моторных движений. В работе Нойпер и Пфуртшеллера показано, что после того как моторный навык усвоен (например, последовательность движений пальцев), связанная с событиями десинхронизация уменьшается в первичной сенсомоторной зоне (Neuper, Pfurtscheller, 2001). Другими словами, повышение активности коры происходит на этапе обучения новому навыку и затем снижается, когда навык усвоен.

Мозговую активность в тета-диапазоне (приблизительно 4–8 Гц) часто связывают с такими процессами, как когнитивный контроль, кодирование и извлечение из памяти, рабочая память, реакция на новизну и др. (Cavanagh, Frank, 2014). В различных исследованиях было показано, что среднелобный тета-ритм, наиболее сильно выраженный в среднем лобном отведении (электрод Fz), связан с бдительностью и

нисходящими произвольными процессами внимания (Baumeister et al., 2008; Cavanagh, Frank, 2014; Sauseng et al., 2006). В некоторых исследованиях показана синхронизация среднелобного тета-ритма с увеличением сложности задачи (Klimesch, 1999; Sauseng et al., 2007). В спорте динамика тета-ритма изучалась в гольфе, стрельбе, баскетболе и др. У опытных стрелков наблюдалось устойчивое увеличение мощности среднелобного тета-ритма за 3 с до спуска курка, что отражает высокую концентрацию внимания до этого момента (Doppelmayr et al., 2008). Более высокая общая тета-активность (6–7 Гц) была отмечена у метких стрелков и игроков в гольф (Baumeister et al., 2008; Haufler et al., 2000). Вместе с тем существуют и противоречивые данные, показывающие более высокую мощность среднелобного тета-ритма у новичков по сравнению с экспертами (Cooke et al., 2014), или, например, в худших пробах по сравнению с лучшими ударами (Kao et al., 2013). Существует предположение, что среднелобный тета-ритм отражает устойчивое внимание во время выполнения квалифицированной задачи, и на экспертном уровне такое внимание будет затрачивать оптимальное количество ресурсов (Hunt et al., 2013).

Электрическая активность мозга в бета-диапазоне (13–30 Гц) наиболее выражена в переднелобных отведениях ЭЭГ (Напалков и др., 2009). Бета-ритм характерен для умственной или физической активности и связан с рядом когнитивных процессов, включая активное участие, сосредоточенное и бдительное внимание, интенсивную концентрацию и решение проблем, стресс и тревогу (Betti et al., 2021). В работе Кука с коллегами более профессиональные гольфисты демонстрировали большее повсеместное снижение мощности бета-диапазона (13–32 Гц) перед подачей мяча в гольфе, чем новички, что позволяет предположить, что «эксперты более расслаблены и затрачивают меньше корковых ресурсов» (Cooke et al., 2014).

В некоторых исследованиях бета-ритм связывают с функционированием сенсомоторной системы и выделяют два его поддиапазона: 13–20 Гц и 20–30 Гц (Напалков и др., 2009). В работе Ченг с соавторами было показано, что непосредственно перед бросанием дротиков более квалифицированные спортсмены характеризуются более высокой мощностью ритма в диапазоне 15–18 Гц по сравнению с новичками (Cheng et al., 2015; 2017). Авторы связывают полученные результаты с более эффективной и адаптивной регуляцией когнитивно-моторной обработки информации в подготовительный период перед броском дротика.

Бета-ритм является одним из показателей внимания (Egner, Gruzelier, 2001; 2004; Hoedlmoser et al., 2008), который отрицательно

связан с активностью сенсомоторной коры (Mann et al., 1996). Вернон с коллегами показали, что с использованием метода биологической обратной связи (БОС) испытуемые могут уменьшить соматосенсорные помехи на этапе обработки информации для поддержания восприятия и внимания (Vernon et al., 2003). Увеличение мощности низкочастотного бета-ритма (15–20 Гц) с помощью БОС было связано с моторным торможением и облегчением фокусировки внимания, увеличением объема рабочей памяти, лучшей моторной подготовкой (Gruzelier et al., 2006) и успокаивающим влиянием на настроение (Gruzelier, 2014). Таким образом, более высокая мощность низкочастотного бета-ритма может представлять собой подавление нерелевантной информации, поступающей от деятельности в сенсомоторной коре, что облегчает формирование расслабленного внимания (Gruzelier, 2014) и приводит к более адаптивной подготовке к действию (Gruzelier et al., 2006).

Описанные результаты соотносятся с гипотезой о нейронной эффективности мозга спортсменов (*neural efficiency of athlete's brain*), согласно которой более низкая активация коры мозга во время выполнения различных физических или умственных задач может коррелировать с более эффективным выполнением задания (Babiloni et al., 2010; Guo et al., 2017). Было высказано предположение, что именно торможение нецелевых процессов может способствовать выполнению задачи (Klimesch et al., 2007). Гипотеза нейронной эффективности была подтверждена в исследованиях (Crews, Landers, 1993; Kerick et al., 2001; Salazar et al., 1990). Эксперты в некоторых видах спорта способны работать с меньшим контролем сознательных процессов и большим автоматизмом благодаря расслаблению левого полушария (у правой), поэтому они «совершенствуют процессы мозговой активности, чтобы исключить несущественные процессы» (Hatfield, Kerick, 2007).

Таким образом, целью настоящего исследования было определить, существуют ли ЭЭГ-корреляты (в альфа-, бета- и тета-диапазонах ЭЭГ), связанные с отличительными особенностями хоккеистов по сравнению с группой контроля (борцами), в задаче по отражению шайбы в условиях виртуальной реальности с использованием ранее разработанной технологии VR-PACE. Подробное описание технологии представлено в публикации (Поликанова и др., 2022).

С учетом анализа литературных данных нами были сформулированы следующие гипотезы:

1. Группа хоккеистов по сравнению с группой контроля (борцов) будет характеризоваться более высокими значениями ИАР до и после физической нагрузки в условиях виртуальной реальности.

2. Группа хоккеистов будет отличаться от группы борцов более высокой мощностью альфа-ритма как до, так и после эксперимента.

3. Группа хоккеистов будет отличаться от группы борцов меньшей мощностью тета-ритма как до, так и после эксперимента.

4. Группа хоккеистов будет отличаться более высокой мощностью нижнего бета-ритма как до, так и после эксперимента.

Выборка

В исследовании приняли участие 22 человека, из них 12 профессиональных хоккеистов ($M_{\text{возраст}} = 20$ лет ($SD = 2,5$); средний стаж занятий 14,18 года ($SD = 3,8$); уровень квалификации от 1-го юношеского разряда до кандидатов в мастера спорта (КМС) (КМС — 3 человека, 1-й взрослый разряд — 1, 2-й взрослый — 6, 3-й взрослый — 1, 1-й юношеский — 2)) и 10 борцов вольного стиля ($M_{\text{возраст}} = 19$ лет ($SD = 1,9$); средний стаж занятий борьбой 8 лет ($SD = 6,10$), КМС — 1 человек, 2-й взрослый разряд — 2 человека, 4 — юношеские разряды), которые были новичками в хоккее. Все они участвовали в исследовании на добровольной основе с предварительно подписанным согласием и с предварительного одобрения Этического комитета Российского психологического общества (март 2021 г.), в соответствии с Хельсинкской декларацией¹. Критериями включения в выборку были: возраст старше 18 лет, способность стоять на коньках, наличие нормального или скорректированного зрения. Критериями исключения были женщины в связи с необходимостью делать поправку на менструальный цикл.

Методы

Технология виртуальной реальности VR-PACE

В исследовании использовалась технология VR-PACE (VR Technology for training Puck hitting And hoCkey skill Effectiveness) с использованием виртуальной реальности, направленная на диагностику и анализ уровня мастерства хоккеиста, а также его тренировку (Поликанова и др., 2022). Данная технология включает в том числе упражнения на отработку навыка по отбиванию шайб разного уровня сложности. Испытуемый перед экспериментом надевает некоторую хоккейную экипировку, а именно — щитки на голень, коньки, перчатки, а также

¹ World Medical Association. (2013). 64th WMA General Assembly Fortaleza Brazil, October 2013. WMA Declaration of Helsinki—Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects.

шлем виртуальной реальности. Испытуемый стоит на специальном пластиковом льду. В руках держит клюшку, которая совпадает с клюшкой в виртуальной среде (Рисунок). Шайбы предьявляются блоками, различающимися уровнем сложности. Всего пять блоков, сложность блоков увеличивается от блока 1 к блоку 4. Блок 1 — самый простой (скорость полета шайбы составляла 60–80 км/ч, большое расстояние до шайбы — 18 м). Блок 2 — более сложный (60–80 км/ч и 100 км/ч, средние расстояния до шайбы 12 м и 18 м). Блок 3 — для среднего уровня мастерства; это сложный режим с высокими скоростями (до 170 км/ч) и любыми расстояниями, включая близкие (6, 12 и 18 м). Блок 4 — самый сложный, где шайбы предьявляются серией по две (последовательно с интервалом в 1 с). В блоке 5 испытуемый не должен отбивать шайбы, а только внимательно наблюдать и отслеживать их.

Запись ЭЭГ

Запись ЭЭГ проводилась с помощью 21-канального портативного беспроводного электроэнцефалографа BrainScanner V3.1 (research edition) фирмы «NeuroDrive» в соответствии с международной системой «10–20» (Рисунок). Частота квантования — 500 Гц. Для анализа ЭЭГ использовалось 9 отведений: фронтальные (F3, Fz, F4), центральные (C3, Cz, C4), париетальные (P3, Pz, P4).

Для анализа ЭЭГ использовались фоновые записи с закрытыми глазами до и после эксперимента в течение 2 минут. При этом запись проводилась в той же позе, что и основной эксперимент, то есть стоя. В анализ электроэнцефалографических данных включали свободные от артефактов эпохи ЭЭГ, которые подразделялись на сегменты длительностью 20 секунд и подвергались быстрому преобразованию Фурье в полосе пропускания 3–35 Гц с использованием окна Ханна. Выходные данные анализировали с помощью специализированной программы «Нейрон-Спектр.NET» (Нейрософт, Иваново), в том числе с использованием встроенных алгоритмов спектрального анализа.

Проводился подсчет следующих параметров ЭЭГ:

– индивидуальный альфа-ритм (ИАР) — частота в диапазоне альфа-ритма (8–14 Гц), на которой наблюдается максимальная мощность альфа-ритма, для теменных отведений (P3, Pz, P4);

– спектр средней мощности для тета- (4–8 Гц), альфа- (8–14 Гц), бета- (14–20 Гц) ритмов во всех отведениях (F3, Fz, F4, P3, Pz, P4, C3, Cz, C4, O3, Oz и O4).



Рисунок 1

Общий вид испытуемого со стороны (слева) и вид испытуемого в шапочке ЭЭГ и шлеме виртуальной реальности (справа)

Figure 1

General view of the subject from the side (left) and the view of the subject in the EEG cap and virtual reality helmet (right)

Анализ данных

Сравнительный анализ проводился с использованием программы Jampovi 2.4.1. Анализ на нормальность показал, что по большинству параметров выборка не характеризуется нормальным распределением, кроме того размер выборки был достаточно небольшой, в связи с чем было принято решение использовать непараметрический критерий Манна — Уитни ($\alpha = 0,05$) для сравнения группы хоккеистов и контрольной группы (борцов), а также непараметрический критерий Вилкоксона для внутригрупповых сравнений.

Статистический анализ проводился для следующих показателей:

- показатели ИАР в теменных отведениях (P3, Pz, P4) у группы хоккеистов в сравнении с группой контроля (борцы);
- показатели мощности (усредненная мощность спектра в заданном частотном диапазоне) для тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ в отведениях: F3, Fz, F4, P3, Pz, P4, C3, Cz, C4, O3, Oz и O4.

Параметры мощности в альфа-диапазоне в центральных отведениях (C3, Cz, C4) были включены в анализ для того, чтобы проверить наличие и динамику сенсомоторного ритма (мю-ритма) в обеих

группах, который наблюдается на тех же частотах, что и альфа-ритм, только в центральных отведениях.

Вычисление и анализ электрофизиологических параметров происходили с использованием программного обеспечения Нейрон-Спектр.NET. Для определения показателей мощности ритмов ЭЭГ использовался спектральный анализ: значения мощности брались из «Таблицы значений спектров мощностей (Средняя частота)».

Результаты исследования

Индивидуальный альфа-ритм (ИАР)

Межгрупповые сравнения

Статистический анализ выявил значимые различия между группами хоккеистов и контроля (борцов) по показателю ИАР в отведении P4 в условиях «после эксперимента» (медиана \pm межквартильный размах (Me \pm IQR)): хоккеисты ($9,68 \pm 1,10$) vs контроль ($10,9 \pm 0,96$), $U = 23$, $p = 0,016$, Cohen's $d = 0,62$.

Внутригрупповые сравнения

Статистический анализ выявил у хоккеистов значимое снижение ИАР после эксперимента во всех трех отведениях (P3, Pz, P4). При этом у борцов значимых различий между фоном «до» и фоном «после» не наблюдается (Таблица 1).

Параметры мощности ритмов ЭЭГ

Межгрупповые сравнения

Статистический анализ не выявил значимых различий между группами в диапазоне тета-ритма.

Статистический анализ выявил значимые различия между группами хоккеистов и контроля (борцы) по показателям мощности в альфа-диапазоне в условиях «до эксперимента» в отведении O3: (Me \pm IQR): хоккеисты ($0,870 \pm 0,66$) vs контроль ($0,290 \pm 0,28$), $U = 24$, $p = 0,029$, Cohen's $d = 0,56$. Также выявлены значимые различия между группами в условии «после эксперимента» в отведении Cz: (Me \pm IQR): хоккеисты ($0,710 \pm 0,380$) vs контроль ($0,32 \pm 0,16$), $U = 26,5$, $p = 0,048$, Cohen's $d = 0,52$.

Статистический анализ выявил значимые различия между группами хоккеистов и контроля (борцы) по показателям мощности в нижней полосе бета-ритма в условиях «до эксперимента» в отведениях O3, Oz, а также различия на уровне тенденции в отведении

Таблица 1

Значения ИАР групп хоккеистов и борцов в начале и в конце эксперимента

Отведение ЭЭГ	Условие	Хоккеисты (n = 12)				Контрольная группа (борцы) (n = 10)			
		До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d	До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d
P3	до	12,8	2,64	0,019	0,855	12,4	1,97	0,193	0,491
	после	10,4	1,24			10,9	1,74		
Pz	до	12,7	2,79	0,024	0,758	12	2,76	0,084	0,636
	после	10,3	1,50			10,4	0,99		
P4	до	12,7	1,63	0,010	0,848	12,7	2,36	0,153	0,527
	после	9,68	1,10			10,9	0,96		

Table 1

IAF values of hockey players and wrestlers at the beginning and at the end of the experiment

Electrode	Condition	Hockey players (n = 12)				Control group (wrestlers) (n = 10)			
		Before/After (Me)	IQR	p	Cohen's d	Before/After (Me)	IQR	p	Cohen's d
P3	Before	12.8	2.64	0.019	0.855	12.4	1.97	0.193	0.491
	After	10.4	1.24			10.9	1.74		
Pz	Before	12.7	2.79	0.024	0.758	12	2.76	0.084	0.636
	After	10.3	1.50			10.4	0.99		
P4	Before	12.7	1.63	0.010	0.848	12.7	2.36	0.153	0.527
	After	9.68	1.10			10.9	0.96		

O4: (Me \pm IQR): отведение O3 — хоккеисты (0,870 \pm 0,65) vs контроль (0,295 \pm 0,178), U = 20,5, p = 0,017, Cohen's d = 0,63; отведение Oz — хоккеисты (0,57 \pm 0,57) vs контроль (0,23 \pm 0,18), U = 24, p = 0,032, Cohen's d = 0,56; отведение O4 — хоккеисты (0,79 \pm 0,71) vs контроль (0,3 \pm 0,32), U = 27,5, p = 0,057, Cohen's d = 0,5.

Также выявлены значимые различия между группами в условии после эксперимента в отведении Pz: (Me \pm IQR): хоккеисты (0,07 \pm 0,05) vs контроль (0,04 \pm 0,04), U = 23, p = 0,026, Cohen's d = 0,58.

Внутригрупповые сравнения

Статистический анализ выявил значимые сдвиги в диапазоне тета-ритма у групп хоккеистов и борцов в лобных (F3 и F4) и затылочных (O3, Oz, O4) отведениях (Таблица 2). Общей тенденцией яв-

Таблица 2

Значения мощности тета-ритма у групп хоккеистов и борцов в начале и в конце эксперимента

Отведение ЭЭГ	Усло- вие	Хоккеисты (n = 12)				Контрольная группа (борцы) (n = 10)			
		До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d	До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d
F3	до	0,440	0,455	0,014	0,855	0,290	0,280	0,020	0,8667
	после	0,210	0,140			0,130	0,0900		
F4	до	0,370	0,365	0,014	1,000	0,195	0,347	0,066	0,6727
	после	0,190	0,130			0,140	0,0900		
O3	до	0,290	0,745	0,009	1,000	0,200	0,273	0,032	0,8182
	после	0,080	0,0500			0,0550	0,0200		
Oz	до	0,230	0,615	0,006	1,000	0,230	0,655	0,014	0,8545
	после	0,0600	0,0450			0,0450	0,0275		
O4	до	0,615	0,655	0,014	0,855	0,215	0,330	0,032	0,7818
	после	0,0450	0,0800			0,0500	0,0350		

Table 2

Values of the power of the theta rhythm in groups of hockey players and wrestlers at the beginning and at the end of the experiment

Electrode	Condi- tion	Hockey players (n = 12)				Control group (wrestlers) (n = 10)			
		Before/ After (Me)	IQR	p	Cohen's d	Before/ After (Me)	IQR	p	Cohen's d
F3	Before	0.440	0.455	0.014	0.855	0.290	0.280	0.020	0.8667
	After	0.210	0.140			0.130	0.0900		
F4	Before	0.370	0.365	0.014	1.000	0.195	0.347	0.066	0.6727
	After	0.190	0.130			0.140	0.0900		
O3	Before	0.290	0.745	0.009	1.000	0.200	0.273	0.032	0.8182
	After	0.080	0.0500			0.0550	0.0200		
Oz	Before	0.230	0.615	0.006	1.000	0.230	0.655	0.014	0.8545
	After	0.0600	0.0450			0.0450	0.0275		
O4	Before	0.615	0.655	0.014	0.855	0.215	0.330	0.032	0.7818
	After	0.0450	0.0800			0.0500	0.0350		

ляется снижение мощности тета-ритма после эксперимента. Характер изменений у обеих групп в целом идентичен.

Статистический анализ выявил значимые сдвиги в диапазоне альфа-ритма у групп хоккеистов и борцов (Таблица 3). При этом у борцов значимые сдвиги наблюдались только в отведении Oz. У группы хоккеистов значимые изменения наблюдались в отведениях: Cz, P3, Pz, P4, O3, Oz. Направленность сдвигов в разных отведениях различалась. В затылочных отведениях (O3 и Oz) наблюдалось снижение мощности ритма после эксперимента, а в теменных (P3, P4 и Pz) отведениях и отведении Cz, наоборот, увеличение.

Статистический анализ показал, что у обеих групп наблюдается значимое снижение мощности в диапазоне нижнего бета-ритма во всех исследуемых отведениях (Таблица 4).

Обсуждение результатов

В предыдущих публикациях (Поликанова и др., 2022; Polikanova et al., 2022) нами подробно представлены результаты статистического анализа поведенческих показателей по исследуемым группам испытуемых. Изменения позы испытуемого и движения клюшки регистрировались с помощью системы SteamVR Tracking 2.0. В частности, был проведен:

- визуальный качественный анализ изменений углов коленного и тазобедренного суставов;
- анализ среднеквадратичных изменений углов коленных и тазобедренных суставов;
- анализ движений головы;
- анализ скорости реагирования клюшкой;
- анализ скорости двигательного отклика на подсветку сектора перед подачей шайбы;
- анализ количества отбитых и пропущенных шайб.

Результаты, представленные в указанной работе, показали, что по количеству отбитых шайб группы хоккеистов и борцов на статистическом уровне не различались во всех четырех блоках. Однако был выявлен ряд других различий. В частности, на основе визуального анализа изменений углов коленного и тазобедренного суставов было показано, что профессиональные хоккеисты характеризуются более симметричными и синхронными изменениями углов по сравнению с группой борцов. Также хоккеисты показали статистически более высокую скорость отбивания шайбы клюшкой по сравнению

Таблица 3

**Значения мощности альфа-ритма у групп хоккеистов и борцов
в начале и в конце эксперимента**

Отведе- ние ЭЭГ	Усло- вие	Хоккеисты (n = 12)				Контрольная группа (борцы) (n = 10)			
		До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d	До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d
Cz	до	0,260	0,170	0,010	-0,8909	0,165	0,0250	0,193	-0,4909
	после	0,710	0,380			0,315	0,163		
P3	до	0,330	0,405	0,037	-0,7455	0,190	0,225	0,164	-0,5556
	после	1,15	0,805			0,560	0,440		
Pz	до	0,290	0,370	0,027	-0,7818	0,225	0,0550	0,084	-0,6364
	после	1,39	1,02			0,440	0,405		
P4	до	0,340	0,330	0,024	-0,8667	0,185	0,258	0,074	-0,6889
	после	1,14	1,17			0,530	0,810		
O3	до	0,870	0,660	0,014	0,8545	0,290	0,283	0,193	0,4909
	после	0,340	0,320			0,255	0,230		
Oz	до	0,690	0,625	0,047	0,7273	0,295	0,285	0,032	0,8222
	после	0,280	0,380			0,265	0,245		

Table 3

**Values of power of alpha rhythm in groups of hockey players and wrestlers
at the beginning and at the end of the experiment**

Electrode	Condi- tion	Hockey players (n = 12)				Control group (wrestlers) (n = 10)			
		Before/ After (Me)	IQR	p	Cohen's d	Before/ After (Me)	IQR	p	Cohen's d
Cz	Before	0.260	0.170	0.010	-0.8909	0.165	0.0250	0.193	-0.4909
	After	0.710	0.380			0.315	0.163		
P3	Before	0.330	0.405	0.037	-0.7455	0.190	0.225	0.164	-0.5556
	After	1.15	0.805			0.560	0.440		
Pz	Before	0.290	0.370	0.027	-0.7818	0.225	0.0550	0.084	-0.6364
	After	1.39	1.02			0.440	0.405		
P4	Before	0.340	0.330	0.024	-0.8667	0.185	0.258	0.074	-0.6889
	After	1.14	1.17			0.530	0.810		
O3	Before	0.870	0.660	0.014	0.8545	0.290	0.283	0.193	0.4909
	After	0.340	0.320			0.255	0.230		
Oz	Before	0.690	0.625	0.047	0.7273	0.295	0.285	0.032	0.8222
	After	0.280	0.380			0.265	0.245		

Таблица 4

Значения мощности нижнего бета-ритма у групп хоккеистов и борцов в начале и в конце эксперимента

Отделение ЭЭГ	Усло- вие	Хоккеисты (n = 12)				Контрольная группа (борцы) (n = 10)			
		До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d	До/после (Me)	IQR	p	Cohen's d
F3	до	0,230	0,180	0,006	1,000	0,160	0,0800	0,008	0,956
	после	0,0600	0,0350			0,0400	0,0200		
Fz	до	0,160	0,175	0,041	0,745	0,155	0,110	0,002	1,000
	после	0,0500	0,0200			0,0350	0,0250		
F4	до	0,190	0,145	0,006	1,000	0,150	0,0850	0,004	0,964
	после	0,0600	0,0200			0,0400	0,0200		
C3	до	0,230	0,185	0,004	0,964	0,145	0,107	0,014	0,891
	после	0,0500	0,0300			0,0350	0,0250		
Cz	до	0,180	0,145	0,053	0,709	0,135	0,0550	0,014	0,891
	после	0,0600	0,0200			0,0350	0,0275		
C4	до	0,200	0,155	0,010	0,891	0,140	0,0600	0,020	0,867
	после	0,0400	0,0150			0,0350	0,0625		
P3	до	0,310	0,165	0,014	0,855	0,150	0,110	0,008	0,956
	после	0,0900	0,0450			0,0400	0,0200		
Pz	до	0,270	0,185	0,020	0,818	0,150	0,0500	0,006	0,927
	после	0,0700	0,0550			0,0400	0,0350		
P4	до	0,390	0,265	0,004	0,964	0,170	0,155	0,024	0,867
	после	0,0700	0,0750			0,0600	0,0300		
O3	до	0,870	0,650	0,004	0,964	0,295	0,178	0,006	1,000
	после	0,0500	0,175			0,0250	0,0200		
Oz	до	0,570	0,570	0,002	1,000	0,230	0,180	0,006	1,000
	после	0,0400	0,0550			0,0250	0,0275		
O4	до	0,790	0,710	0,002	1,000	0,300	0,320	0,002	1,000
	после	0,0400	0,130			0,0250	0,0250		

с борцами в блоках 1 и 3. Кроме того, анализ стойки спортсменов выявил значительные различия между хоккеистами и борцами в под-
держании положения головы: хоккеисты практически не опускали
голову на протяжении всей записи. Борцы, наоборот, постоянно ее
опускали для контроля глазами полета шайбы. Таким образом, мы

Table 4**Values of the power of the lower beta rhythm in groups of hockey players and wrestlers at the beginning and at the end of the experiment**

Electrode	Condition	Hockey players (n = 12)				Control group (wrestlers) (n = 10)			
		Before/After (Me)	IQR	p	Cohen's d	Before/After (Me)	IQR	p	Cohen's d
F3	Before	0.230	0.180	0.006	1.000	0.160	0.0800	0.008	0.956
	After	0.0600	0.0350			0.0400	0.0200		
Fz	Before	0.160	0.175	0.041	0.745	0.155	0.110	0.002	1.000
	After	0.0500	0.0200			0.0350	0.0250		
F4	Before	0.190	0.145	0.006	1.000	0.150	0.0850	0.004	0.964
	After	0.0600	0.0200			0.0400	0.0200		
C3	Before	0.230	0.185	0.004	0.964	0.145	0.107	0.014	0.891
	After	0.0500	0.0300			0.0350	0.0250		
Cz	Before	0.180	0.145	0.053	0.709	0.135	0.0550	0.014	0.891
	After	0.0600	0.0200			0.0350	0.0275		
C4	Before	0.200	0.155	0.010	0.891	0.140	0.0600	0.020	0.867
	After	0.0400	0.0150			0.0350	0.0625		
P3	Before	0.310	0.165	0.014	0.855	0.150	0.110	0.008	0.956
	After	0.0900	0.0450			0.0400	0.0200		
Pz	Before	0.270	0.185	0.020	0.818	0.150	0.0500	0.006	0.927
	After	0.0700	0.0550			0.0400	0.0350		
P4	Before	0.390	0.265	0.004	0.964	0.170	0.155	0.024	0.867
	After	0.0700	0.0750			0.0600	0.0300		
O3	Before	0.870	0.650	0.004	0.964	0.295	0.178	0.006	1.000
	After	0.0500	0.175			0.0250	0.0200		
Oz	Before	0.570	0.570	0.002	1.000	0.230	0.180	0.006	1.000
	After	0.0400	0.0550			0.0250	0.0275		
O4	Before	0.790	0.710	0.002	1.000	0.300	0.320	0.002	1.000
	After	0.0400	0.130			0.0250	0.0250		

заклучили, что хоккеисты характеризуются специфической антиципацией, позволяющей им отбивать шайбы без постоянного визуального контроля. Кроме того, хоккеисты характеризуются более адаптированными движениями, позволяющими отбивать шайбы с минимальными энергетическими тратами. При этом как хоккеисты, так и борцы характеризуются довольно высокой скоростью реакции,

что позволяет им практически одинаково успешно отражать шайбы (Polikanova et al., 2022).

Полученные в рамках настоящего исследования результаты свидетельствуют о том, что гипотеза 1 не подтвердилась. Группы различаются по ИАР в условии «после эксперимента» только в отведении P4. При этом группа хоккеистов характеризуется меньшим значением ИАР по сравнению с группой борцов. Вместе с тем группа хоккеистов характеризуется значимым снижением ИАР после эксперимента в отведениях P3, Pz, P4. У борцов также наблюдается снижением параметра после эксперимента, но оно не значимое. Наши данные не согласуются с результатами Чжан с коллегами (Zhang, 2021), которые показали более высокий ИАР у элитных спортсменов по сравнению с новичками до и после выполнения экспериментальной задачи. Полученные нами данные, возможно, объясняются высокой когнитивной нагрузкой, затраченной на выполнение задания.

Значения мощности в альфа-диапазоне выявили четкие и согласованные закономерности, связанные с более высокой мощностью альфа-ритма перед прохождением эксперимента у хоккеистов в правом затылочном отведении (O3). Кроме того, после эксперимента наблюдается увеличение мощности на частоте альфа-ритма у хоккеистов в отведении Cz, что соответствует так называемому мю-ритму, или соматосенсорному ритму, десинхронизация которого происходит при подготовке к движению и во время его выполнения (Babiloni et al., 2008). Согласно данным Ченг с коллегами, это говорит о меньшей соматосенсорной интерференции при обработке двигательной активности и меньших затратах внимания у экспертов во время выполнения упражнения (Cheng et al., 2015).

По результатам внутригрупповых различий мы наблюдаем большее количество значимых изменений в группе хоккеистов по сравнению с борцами. При этом общие тенденции в динамике ритмов идентичны в обеих группах. В частности, в центральных и теменных отведениях (Oz, P3, Pz, P4) наблюдается увеличение мощности ритма, тогда как в затылочных отведениях (O3, Oz) наблюдается снижение мощности.

В целом это согласуется с литературными данными, которые показывают связанную с событиями десинхронизацию альфа-ритма в сенсомоторных областях, например, во время выполнения моторной задачи, а также связанную с событиями синхронизацию альфа-ритма, более типичную для состояний бездействия (Klimesch et al., 2007; Pfurtscheller, 2001). Вероятно, что в фоновом состоянии «до эксперимента» группа хоккеистов настраивалась на выполнение

профессионально-специфической задачи по отбиванию шайбы, что отразилось в связанной с событиями синхронизации альфа-ритма, выражаемой в большей мощности альфа-ритма до и после эксперимента. Похожие результаты были показаны Хатфилдом с коллегами на профессиональных стрелках мирового класса: во время прицеливания наблюдалось увеличение мощности альфа-ритма (Hatfield et al., 1982). Это в свою очередь может свидетельствовать о нейронной эффективности, наблюдаемой у хоккеистов, поскольку большая мощность альфа-ритма свидетельствует о меньшем потреблении энергии (di Fronso et al., 2016; Kerick et al., 2001; Pfurtscheller, Lopes Da Silva, 1999; Zhuang et al., 1997).

Гипотеза нейронной эффективности, демонстрирующая, что у экспертов снижена активация коры (увеличенная альфа-мощность) по сравнению с менее квалифицированными людьми, была подтверждена в спортивных исследованиях на стрелках (Hatfield et al., 1982; di Fronso et al., 2016), каратистах и фехтовальщиках (Del Percio et al., 2011b), велоспортсменах (Ludyga et al., 2016) и игроках в настольный теннис (Guo et al., 2017).

Исследования показывают, что профессионалы способны работать с меньшим контролем сознательных процессов и большей автоматичностью за счет расслабления левого полушария (у правшей), что позволяет им увеличить мозговую эффективность и исключить из сознательной обработки несущественные процессы (Hatfield, Kerick, 2007).

Таким образом, мы можем принять гипотезу 2, согласно которой группа хоккеистов отличается от группы борцов более высокой мощностью альфа-ритма как до, так и после эксперимента.

Динамика мощности в тета-диапазоне у обеих групп наблюдалась в целом идентичная. Значимое снижение мощности тета-ритма наблюдалось в лобных отведениях (F3 и F4), а также в затылочных отведениях (O3, Oz, O4). Исследования показывают, что снижение мощности тета-ритма может быть связано со снижением бдительности и увеличением сонливости (Christie et al., 2019). Характер выполняемой в нашем исследовании задачи характеризовался значительной ментальной нагрузкой. В ряде исследований показано, что тета-ритм синхронизируется с увеличением требований задачи (Sauseng et al., 2007). Вместе с тем тета-ритм отражает устойчивое внимание во время выполнения квалификационной задачи, но при этом оптимальная вовлеченность внимания характеризуется более низкой мощностью тета-ритма, что отражает снижение когнитивной нагрузки и отсутствие чрезмерного контроля внимания (Hunt et al.,

2013; Kao et al., 2013). Наши результаты не выявили статистически значимых различий между группами хоккеистов и контроля по мощности тета-ритма. Вместе с тем отмечается тенденция к более высокой мощности в тета-диапазоне у группы хоккеистов как до, так и после эксперимента, что может говорить о более высоких когнитивных ресурсах, затрачиваемых на выполнение задачи. Вероятно, это связано с тем, что экспериментальная задача только отчасти была квалификационной, поскольку ранее у испытуемых не было опыта игры в условиях виртуальной реальности. Кроме того, шайбы вылетали в непредсказуемом месте, что также осложняло задачу. В реальности игрок, стоящий на воротах, всегда видит, где находится шайба. Таким образом, с одной стороны, можно предположить, что испытуемые характеризовались вовлеченным вниманием при выполнении экспериментальной задачи, а с другой стороны — динамика тета-ритма у испытуемых отражает начинающийся процесс когнитивного утомления. Таким образом, с учетом изложенного, гипотеза 3 нами не принимается.

Динамика мощности в бета-диапазоне у обеих групп наблюдалась в целом идентичная, а именно — наблюдалось снижение мощности бета-ритма во всех исследуемых отведениях. Также были обнаружены различия между группами в условии «до эксперимента»: в целом группа хоккеистов характеризовалась более высокой мощностью в бета-диапазоне, значимые различия были обнаружены для затылочных отведений (O3 и Oz). Большая мощность бета-ритма может говорить о большем внимании, тогда как после эксперимента наблюдается и большее расслабление.

В работе Кука с коллегами более профессиональные гольфисты демонстрировали большее повсеместное снижение мощности бета-диапазона (13–32 Гц) перед подачей мяча в гольфе, чем новички, что позволяет предположить, что «эксперты более расслаблены и затрачивают меньше корковых ресурсов» (Cooke et al., 2014). В некоторых исследованиях бета-ритм связывают с функционированием сенсомоторной системы (Напалков и др., 2009). В работе Ченг с соавторами было показано, что непосредственно перед бросанием дротиков более квалифицированные спортсмены характеризуются более высокой мощностью ритма в диапазоне 15–18 Гц по сравнению с новичками (Cheng et al., 2015; 2017). Авторы связывают полученные результаты с более эффективной и адаптивной регуляцией когнитивно-моторной обработки информации в подготовительный период перед броском дротика. Таким образом, с учетом изложенного, гипотеза 4 принимается.

Заключение

В рамках проведенного исследования мы изучили электроэнцефалографические корреляты (в альфа-, бета- и тета-диапазонах ЭЭГ, а также ИАР) во время выполнения задачи по отбиванию шайбы в условиях виртуальной реальности у хоккеистов в сравнении с борцами вольного стиля. Для исследования использовалась разработанная нами технология VR-РАСЕ, которая позволяет отрабатывать навыки отражения шайб в хоккее в условиях виртуальной реальности. Результаты исследования не позволяют принять гипотезу 1, поскольку группы хоккеистов и борцов различаются по индексу альфа-ритма (ИАР) только в отведении P4, где хоккеисты имеют более низкое значение. После эксперимента хоккеисты показывают значительное снижение ИАР в отведениях P3, Pz и P4, тогда как у борцов снижение незначительное. Полученные результаты могут объясняться высокой когнитивной нагрузкой во время выполнения задания, что противоречит исследованиям Чжан и коллег о более высоком ИАР у элитных спортсменов. Гипотеза 2 нами принимается, поскольку хоккеисты демонстрируют большую мощность альфа-ритма перед экспериментом в отведении O3. Также показано, что после эксперимента наблюдается более высокая мощность на частоте альфа-ритма в центральном отведении Cz, что соответствует мю-ритму и указывает на меньшую соматосенсорную интерференцию и затраты внимания. Полученные данные также согласуются с гипотезой о нейронной эффективности, так как хоккеисты показывают большую мощность альфа-ритма, что свидетельствует о меньшем потреблении энергии и более автоматизированной работе мозга.

Результаты работы показали значительное снижение мощности тета-ритма в лобных и затылочных отведениях, что может указывать на снижение бдительности и увеличение сонливости. При этом статистически значимых различий между группами хоккеистов и борцов обнаружено не было. Это не позволяет принять гипотезу 3.

Динамика мощности бета-ритма была схожа у обеих групп с общим снижением, но хоккеисты демонстрировали более высокую мощность, особенно в затылочных отведениях. Это может говорить о большем внимании и расслаблении после эксперимента. Сравнения с другими исследованиями показывают, что более опытные спортсмены могут демонстрировать более эффективную регуляцию когнитивно-моторной обработки, что согласуется с принятием гипотезы 4.

Таким образом, полученные нами данные подчеркивают важность различий в когнитивной нагрузке и внимании между опыт-

ными спортсменами и новичками, а также влияние специфических условий выполнения задачи на динамику ЭЭГ.

Ограничения исследования. Поскольку работа выполнена на небольшой и специфической выборке, то в первую очередь требуется расширение выборки. Кроме того, целесообразно будет включить в выборку и группу испытуемых, не занимающихся спортом на регулярной основе, чтобы проверить полученные нами результаты.

Список литературы

Леонов, С.В., Кручинина, А.П., Бутрий, Г.С., Булаева, Н.И., Поликанова, И.С. (2022). Основные характеристики постурального баланса стойки профессиональных хоккеистов и новичков. *Национальный психологический журнал*, 46(2), 65–79. <https://doi.org/10.11621/NPJ.2022.0207>

Напалков, Д.А., Ратманова, П.О., Коликов, М.Б. (2009). Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка: Методические рекомендации. Москва: Изд-во «Макс Пресс».

Поликанова, И.С., Леонов, С.В., Якушина, А.А., Бутрий, Г.С., Кручинина, А.П., Чергополохов, В.А., Люцко, Л.Н. (2022). Разработка технологии виртуальной реальности VR-РАСЕ для диагностики и тренировки уровня мастерства хоккеистов. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, (1), 269–297. <http://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.12>

Angelakis, E., Lubar, J.F., Stathopoulou, S., Kounios, J. (2004). Peak Alpha Frequency: An electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clinical Neurophysiology*, 115(4), 887–897. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.11.034>

Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., Crespi, G., Dassù, F., Pirritano, M., Gallamini, M., Eusebi, F. (2008). Golf Putt Outcomes are Predicted by Sensorimotor Cerebral EEG Rhythms: Brain rhythms and successful golf putts. *The Journal of Physiology*, 586(1), 131–139. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.141630>

Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., Buffo, P., Cibelli, G., Soricelli, A., Eusebi, F., Del Percio, C. (2010). Resting State Cortical Rhythms in Athletes: A high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, 81(1), 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.10.014>

Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., Weiss, M. (2008). Cortical Activity of Skilled Performance in a Complex Sports Related Motor Task. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 625–631. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0811-x>

Bishop, D., Lawrence, S., Spencer, M. (2003). Predictors of Repeated-Sprint Ability in Elite Female Hockey Players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(2), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(03\)80255-4](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(03)80255-4)

Betti, V., Della Penna, S., de Pasquale, F., Corbetta, M. (2021). Spontaneous Beta Band Rhythms in the Predictive Coding of Natural Stimuli. *The Neuroscientist*, 27(2), 184–201. <https://doi.org/10.1177/1073858420928988>

Buns, M. (2020). Impact of Virtual Reality Training on Real-World Hockey Skill: An Intervention Trial. *Journal of Sports Science*, 8(1). <https://doi.org/10.17265/2332-7839/2020.01.002>

Cavanagh, J.F., Frank, M.J. (2014). Frontal Theta as a Mechanism for Cognitive Control. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012>

Cheng, M.Y., Hung, C.L., Huang, C.J., Chang, Y.K., Lo, L.C., Shen, C., Hung, T.M. (2015). Expert-Novice Differences in SMR Activity during Dart Throwing. *Biological Psychology*, 110, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.08.003>

Cheng, M.Y., Wang, K.P., Hung, C.L., Tu, Y.L., Huang, C.J., Koester, D., Schack, T., Hung, T.M. (2017). Higher Power of Sensorimotor Rhythm is Associated with Better Performance in Skilled Air-Pistol Shooters. *Psychology of Sport and Exercise*, 32, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.05.007>

Christie, S. (2017). Individual Alpha Peak Frequency in Ice Hockey Shooting Performance. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00762>

Christie, S., Werthner, P., Bertollo, M. (2019). Exploration of Event-Related Dynamics of Brain Oscillations in Ice Hockey Shooting. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 8(1), 38–52. <https://doi.org/10.1037/spy0000134>

Cooke, A., Kavussanu, M., Gallicchio, G., Willoughby, A., McIntyre, D., Ring, C. (2014). Preparation For Action: Psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise, performance outcome, and psychological pressure. *Psychophysiology*, 51(4), 374–384. <https://doi.org/10.1111/psyp.12182>

Crews, D.J., Landers, D.M. (1993). Electroencephalographic Measures of Attentional Patterns Prior to the Golf Putt. *Medicine, Science in Sports, Exercise*, 25(1), 116–126. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00016>

Del Percio, C., Iacoboni, M., Lizio, R., Marzano, N., Infarinato, F., Vecchio, F., Bertollo, M., Robazza, C., Comani, S., Limatola, C., Babiloni, C. (2011a). Functional Coupling of Parietal Alpha Rhythms is Enhanced in Athletes Before Visuomotor Performance: A coherence electroencephalographic study. *Neuroscience*, 175, 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.11.031>

Del Percio, C., Infarinato, F., Marzano, N., Iacoboni, M., Aschieri, P., Lizio, R., Soricelli, A., Limatola, C., Rossini, P.M., Babiloni, C. (2011b). Reactivity of Alpha Rhythms to Eyes Opening is Lower in Athletes than Non-Athletes: A high-resolution EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.005>

di Fronso, S., Robazza, C., Filho, E., Bortoli, L., Comani, S., Bertollo, M. (2016). Neural Markers of Performance States in an Olympic Athlete: An EEG case study in air-pistol shooting. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15, 214–222.

Doppelmayer, M., Finkenzerler, T., Sauseng, P. (2008). Frontal Midline Theta in the Pre-Shot Phase of Rifle Shooting: Differences between experts and novices. *Neuropsychologia*, 46(5), 1463–1467. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.026>

Egner, T., Gruzelić, J.H. (2001). Learned Self-Regulation of EEG Frequency Components Affects Attention and Event-Related Brain Potentials in Humans. *Neuroreport*, 12(18), 4155–4159. <https://doi.org/10.1097/00001756-200112210-00058>

Egner, T., Gruzelier, J.H. (2004). EEG Biofeedback of Low Beta Band Components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical neurophysiology*, 115(1), 131–139. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00353-5](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00353-5)

Goljahani, A., D'Avanzo, C., Schiff, S., Amodio, P., Bisiacchi, P., Sparacino, G. (2012). A Novel Method for the Determination of the EEG Individual Alpha Frequency. *NeuroImage*, 60(1), 774–786. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.001>

Gong, A., Liu, J., Li, F., Liu, F., Jiang, C., Fu, Y. (2017). Correlation Between Resting-state Electroencephalographic Characteristics and Shooting Performance. *Neuroscience*, 366, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.016>

Grandy, T.H., Werkle-Bergner, M., Chicherio, C., Schmiedek, F., Lövdén, M., Lindenberger, U. (2013). Peak Individual Alpha Frequency Qualifies as a Stable Neurophysiological Trait Marker in Healthy Younger and Older Adults. *Psychophysiology*, 50(6), 570–582.

Gruzelier, J.H. (2014). Differential Effects on Mood of 12–15 (SMR) and 15–18 (beta1) Hz Neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 93(1), 112–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.11.007>

Gruzelier, J., Egner, T., Vernon, D. (2006). Validating the Efficacy of Neurofeedback for Optimising Performance. *Book Series: Progress in Brain Research. Amsterdam*, 159, 421–431. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59027-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59027-2)

Guo, Z., Li, A., Yu, L. (2017). “Neural Efficiency” of Athletes’ Brain during Visuo-Spatial Task: An fMRI Study on Table Tennis Players. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11, 72. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00072>

Hatfield, B.D., Landers, D.M., Ray, W.J., Daniels, F.S. (1982). An Electroencephalographic Study of Elite Rifle Shooters. *American Marksman*, 7, 6–8.

Hatfield, B.D., Kerick, S.E. (2007). The Psychology of Superior Sport Performance: A Cognitive and Affective Neuroscience Perspective. In: G. Tenenbaum, R.C. Eklund, (eds.). *Handbook of Sport Psychology*. 1st ed. (pp. 84–109). Hoboken: Wiley Publ. <https://doi.org/10.1002/9781118270011.ch4>

Haufler, A.J., Spalding, T.W., Santa Maria, D.L., Hatfield, B.D. (2000). Neuro-Cognitive Activity during a Self-Paced Visuospatial Task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*, 53(2–3), 131–160. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00047-8)

Hoedlmoser, K., Pecherstorfer, T., Gruber, G., Anderer, P., Doppelmayr, M., Klimesch, W., Schabus, M. (2008). Instrumental Conditioning of Human Sensorimotor Rhythm (12–15 Hz) and its Impact on Sleep as Well as Declarative Learning. *Sleep*, 31(10), 1401–1408.

Hunt, C.A., Rietschel, J.C., Hatfield, B.D., Iso-Ahola, S.E. (2013). A Psychophysiological Profile of Winners and Losers in Sport Competition. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 2(3), 220–231. <https://doi.org/10.1037/a0031957>

Kao, S.C., Huang, C.J., Hung, T.M. (2013). Frontal Midline Theta Is a Specific Indicator of Optimal Attentional Engagement During Skilled Putting Performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(5), 470–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.5.470>

Katz, L., Parker, J.P., Tyreman, H., Kopp, G., Levy, R.M., Chang, E. (2006). Virtual Reality in Sport and Wellness: Promise and Reality. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4(1), 4–6.

Kerick, S.E., McDowell, K., Hung, T.M., Santa Maria, D.L., Spalding, T.W., Hatfield, B.D. (2001). The Role of the Left Temporal Region under the Cognitive Motor Demands of Shooting in Skilled Marksmen. *Biological Psychology*, 58(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00116-8)

Klimesch, W. (1999). EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T. (1996). Encoding of New. *Neuroreport*, 7, 1235–1240.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., Ripper, B. (1997). Theta Synchronization and Alpha Desynchronization in a Memory Task. *Psychophysiology*, 34(2), 169–176.

Klimesch, W., Sauseng, P., Hanslmayr, S. (2007). EEG Alpha Oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>

Klimesch, W., Shimke, H., Pfurtscheller, G. (1993). Alpha Frequency, Cognitive Load and Memory Performance. *Brain topography*, 5(3), 241–251.

Ludyga, S., Gronwald, T., Hottenrott, K. (2016). The Athlete’s Brain: Cross-Sectional Evidence for Neural Efficiency during Cycling Exercise. *Neural Plasticity*, 2016(1), 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/4583674>

Mann, C.A., Serman, M.B., Kaiser, D.A. (1996). Suppression of EEG Rhythmic Frequencies during Somato-Motor and Visuo-Motor Behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1-2), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(96\)00036-0](https://doi.org/10.1016/0167-8760(96)00036-0)

Milton, J., Solodkin, A., Hluštík, P., Small, S.L. (2007). The Mind of Expert Motor Performance is Cool and Focused. *NeuroImage*, 35(2), 804–813. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.01.003>

Neuper, C., Pfurtscheller, G. (2001). Event-Related Dynamics of Cortical Rhythms: Frequency-Specific Features and Functional Correlates. *International Journal of Psychophysiology*, 43(1), 41–58. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00178-7)

Pfurtscheller, G. (2001). Functional Brain Imaging Based on ERD/ERS. *Vision Research*, 41, 10–11. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00235-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00235-2)

Pfurtscheller, G., Lopes Da Silva, F.H. (1999). Event-Related EEG/MEG Synchronization and Desynchronization: Basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842–1857. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00141-8)

Polikanova, I., Yakushina, A., Leonov, S., Kruchinina, A., Chertopolokhov, V., Liutsko, L. (2022). What Differences Exist in Professional Ice Hockey Performance Using Virtual Reality (VR) Technology between Professional Hockey Players and Free-style Wrestlers? (A Pilot Study). *Sports*, 10, 8. <https://doi.org/10.3390/sports10080116>

Salazar, W., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Han, M., Crews, D.J., Kubitz, K.A. (1990). Hemispheric Asymmetry, Cardiac Response, and Performance in Elite Archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(4), 351–359. <https://doi.org/10.1080/02701367.1990.10607499>

Sauseng, P., Hoppe, J., Klimesch, W., Gerloff, C., Hummel, F.C. (2007). Dissociation of Sustained Attention from Central Executive Functions: Local activity and interregional connectivity in the theta range. *European Journal of Neuroscience*, 25(2), 587–593. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05286.x>

Sauseng, P., Klimesch, W., Freunberger, R., Pecherstorfer, T., Hanslmayr, S., Doppelmayr, M. (2006). Relevance of EEG Alpha and Theta Oscillations during Task Switching. *Experimental Brain Research*, 170(3), 295–301. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0211-y>

Singer, R.N., Hausenblas, H.A., Janelle, C. (eds.). (2001). Handbook of sport psychology. 2nd ed. Hoboken: Wiley Publ.

Tyreman, H., Parker, J.R., Katz, L. (2008). Ice Hockey Goaltenders' Strategies, Reaction Times and Anticipation Times in Two- and Three-Dimensional Virtual Environments. In the Proceedings of First Joint International Pre-Olympic Conference of Sports Science and Sports Engineering (August, 4–7, 2008). (pp. 68–72). Liverpool: World Academic Union Publ.

Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., Gruzelier, J. (2003). The Effect of Training Distinct Neurofeedback Protocols on Aspects of Cognitive Performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47(1), 75–85. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(02\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(02)00091-0)

Vogt, F., Klimesch, W., Doppelmayr, M. (1998). High-Frequency Components in the Alpha Band and Memory Performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15(2), 167–172.

Wilson, K., Snyder, G., Game, A., Quinney, A., Bell, G. (2010). The Development and Reliability of a Repeated Anaerobic Cycling Test in Female Ice Hockey Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 580–584. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb1a1>

Zhang, Y., Lu, Y., Wang, D., Zhou, C., Xu, C. (2021). Relationship between Individual Alpha Peak Frequency and Attentional Performance in a Multiple Object Tracking Task among Ice-Hockey Players. *Plos One*, 16(5), e0251443.

Zhuang, P., Toro, C., Grafman, J., Manganotti, P., Leocani, L., Hallett, M. (1997). Event-Related Desynchronization (ERD) in the Alpha Frequency during Development of Implicit and Explicit Learning. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102(4), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(96\)96030-7](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(96)96030-7)

References

Angelakis, E., Lubar, J.F., Stathopoulou, S., Kounios, J. (2004). Peak Alpha Frequency: An electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clinical Neurophysiology*, 115(4), 887–897. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.11.034>

Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., Crespi, G., Dassù, F., Pirritano, M., Gallamini, M., Eusebi, F. (2008). Golf Putt Outcomes are Predicted by Sensorimotor Cerebral EEG Rhythms: Brain rhythms and successful golf putts. *The Journal of Physiology*, 586(1), 131–139. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.141630>

Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., Buffo, P., Cibelli, G., Soricelli, A., Eusebi, F., Del Percio, C. (2010). Resting State Cortical Rhythms in Athletes: A high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, 81(1), 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.10.014>

Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., Weiss, M. (2008). Cortical Activity of Skilled Performance in a Complex Sports Related Motor Task. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 625–631. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0811-x>

Bishop, D., Lawrence, S., Spencer, M. (2003). Predictors of Repeated-Sprint Ability in Elite Female Hockey Players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(2), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(03\)80255-4](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(03)80255-4)

Betti, V., Della Penna, S., de Pasquale, F., Corbetta, M. (2021). Spontaneous Beta Band Rhythms in the Predictive Coding of Natural Stimuli. *The Neuroscientist*, 27(2), 184–201. <https://doi.org/10.1177/1073858420928988>

Buns, M. (2020). Impact of Virtual Reality Training on Real-World Hockey Skill: An Intervention Trial. *Journal of Sports Science*, 8(1). <https://doi.org/10.17265/2332-7839/2020.01.002>

Cavanagh, J.F., Frank, M.J. (2014). Frontal Theta as a Mechanism for Cognitive Control. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012>

Cheng, M.Y., Hung, C.L., Huang, C.J., Chang, Y.K., Lo, L.C., Shen, C., Hung, T.M. (2015). Expert-Novice Differences in SMR Activity during Dart Throwing. *Biological Psychology*, 110, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.08.003>

Cheng, M.Y., Wang, K.P., Hung, C.L., Tu, Y.L., Huang, C.J., Koester, D., Schack, T., Hung, T.M. (2017). Higher Power of Sensorimotor Rhythm is Associated with Better Performance in Skilled Air-Pistol Shooters. *Psychology of Sport and Exercise*, 32, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.05.007>

Christie, S. (2017). Individual Alpha Peak Frequency in Ice Hockey Shooting Performance. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00762>

Christie, S., Werthner, P., Bertollo, M. (2019). Exploration of Event-Related Dynamics of Brain Oscillations in Ice Hockey Shooting. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 8(1), 38–52. <https://doi.org/10.1037/spy0000134>

Cooke, A., Kavassanu, M., Gallicchio, G., Willoughby, A., McIntyre, D., Ring, C. (2014). Preparation For Action: Psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise, performance outcome, and psychological pressure. *Psychophysiology*, 51(4), 374–384. <https://doi.org/10.1111/psyp.12182>

Crews, D.J., Landers, D.M. (1993). Electroencephalographic Measures of Attentional Patterns Prior to the Golf Putt. *Medicine, Science in Sports, Exercise*, 25(1), 116–126. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00016>

Del Percio, C., Iacoboni, M., Lizio, R., Marzano, N., Infarinato, F., Vecchio, F., Bertollo, M., Robazza, C., Comani, S., Limatola, C., Babiloni, C. (2011a). Functional Coupling of Parietal Alpha Rhythms is Enhanced in Athletes Before Visuomotor Performance: A coherence electroencephalographic study. *Neuroscience*, 175, 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.11.031>

Del Percio, C., Infarinato, F., Marzano, N., Iacoboni, M., Aschieri, P., Lizio, R., Soricelli, A., Limatola, C., Rossini, P.M., Babiloni, C. (2011b). Reactivity of Alpha Rhythms to Eyes Opening is Lower in Athletes than Non-Athletes: A high-resolution EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.005>

di Fronso, S., Robazza, C., Filho, E., Bortoli, L., Comani, S., Bertollo, M. (2016). Neural Markers of Performance States in an Olympic Athlete: An EEG case study in air-pistol shooting. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15, 214–222.

Doppelmayr, M., Finkenzeller, T., Sauseng, P. (2008). Frontal Midline Theta in the Pre-Shot Phase of Rifle Shooting: Differences between experts and novices. *Neuropsychologia*, 46(5), 1463–1467. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.026>

Egner, T., Gruzelier, J.H. (2001). Learned Self-Regulation of EEG Frequency Components Affects Attention and Event-Related Brain Potentials in Humans. *Neuroreport*, 12(18), 4155–4159. <https://doi.org/10.1097/00001756-200112210-00058>

Egner, T., Gruzelier, J.H. (2004). EEG Biofeedback of Low Beta Band Components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical neurophysiology*, 115(1), 131–139. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00353-5](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00353-5)

Goljahani, A., D'Avanzo, C., Schiff, S., Amodio, P., Bisiacchi, P., Sparacino, G. (2012). A Novel Method for the Determination of the EEG Individual Alpha Frequency. *NeuroImage*, 60(1), 774–786. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.001>

Gong, A., Liu, J., Li, F., Liu, F., Jiang, C., Fu, Y. (2017). Correlation Between Resting-state Electroencephalographic Characteristics and Shooting Performance. *Neuroscience*, 366, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.016>

Grandy, T.H., Werkle-Bergner, M., Chicherio, C., Schmiedek, F., Lövdén, M., Lindenberger, U. (2013). Peak Individual Alpha Frequency Qualifies as a Stable Neurophysiological Trait Marker in Healthy Younger and Older Adults. *Psychophysiology*, 50(6), 570–582.

Gruzelier, J.H. (2014). Differential Effects on Mood of 12–15 (SMR) and 15–18 (beta1) Hz Neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 93(1), 112–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.11.007>

Gruzelier, J., Egner, T., Vernon, D. (2006). Validating the Efficacy of Neurofeedback for Optimising Performance. *Book Series: Progress in Brain Research. Amsterdam*, 159, 421–431. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59027-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59027-2)

Guo, Z., Li, A., Yu, L. (2017). “Neural Efficiency” of Athletes’ Brain during Visuo-Spatial Task: An fMRI Study on Table Tennis Players. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11, 72. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00072>

Hatfield, B.D., Landers, D.M., Ray, W.J., Daniels, F.S. (1982). An Electroencephalographic Study of Elite Rifle Shooters. *American Marksman*, 7, 6–8.

Hatfield, B.D., Kerick, S.E. (2007). The Psychology of Superior Sport Performance: A Cognitive and Affective Neuroscience Perspective. In: G. Tenenbaum, R.C. Eklund, (eds.). *Handbook of Sport Psychology*. 1st ed. (pp. 84–109). Hoboken: Wiley Publ. <https://doi.org/10.1002/9781118270011.ch4>

Haufler, A.J., Spalding, T.W., Santa Maria, D.L., Hatfield, B.D. (2000). Neuro-Cognitive Activity during a Self-Paced Visuospatial Task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*, 53(2–3), 131–160. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00047-8)

Hoedlmoser, K., Pecherstorfer, T., Gruber, G., Anderer, P., Doppelmayr, M., Klimesch, W., Schabus, M. (2008). Instrumental Conditioning of Human Sensorimotor Rhythm (12–15 Hz) and its Impact on Sleep as Well as Declarative Learning. *Sleep*, 31(10), 1401–1408.

Hunt, C.A., Rietschel, J.C., Hatfield, B.D., Iso-Ahola, S.E. (2013). A Psychophysiological Profile of Winners and Losers in Sport Competition. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 2(3), 220–231. <https://doi.org/10.1037/a0031957>

Kao, S.C., Huang, C.J., Hung, T.M. (2013). Frontal Midline Theta Is a Specific Indicator of Optimal Attentional Engagement During Skilled Putting Performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(5), 470–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.5.470>

Katz, L., Parker, J.P., Tyreman, H., Kopp, G., Levy, R.M., Chang, E. (2006). Virtual Reality in Sport and Wellness: Promise and Reality. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4(1), 4–6.

Kerick, S.E., McDowell, K., Hung, T.M., Santa Maria, D.L., Spalding, T.W., Hatfield, B.D. (2001). The Role of the Left Temporal Region under the Cognitive Motor Demands of Shooting in Skilled Marksmen. *Biological Psychology*, 58(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00116-8)

Klimesch, W. (1999). EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T. (1996). Encoding of New. *Neuroreport*, 7, 1235–1240.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., Ripper, B. (1997). Theta Synchronization and Alpha Desynchronization in a Memory Task. *Psychophysiology*, 34(2), 169–176.

Klimesch, W., Sauseng, P., Hanslmayr, S. (2007). EEG Alpha Oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>

Klimesch, W., Shimke, H., Pfurtscheller, G. (1993). Alpha Frequency, Cognitive Load and Memory Performance. *Brain topography*, 5(3), 241–251.

Leonov, S.V., Kruchinina, A.P., Bugrii, G.S., Bulaeva, N.I., Polikanova, I.S. (2022). Basic Characteristics of Postural Balance of Professional Hockey Players and Novices. *National Psychological Journal*, 46(2), 65–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/NPJ.2022.0207>

Ludyga, S., Gronwald, T., Hottenrott, K. (2016). The Athlete's Brain: Cross-Sectional Evidence for Neural Efficiency during Cycling Exercise. *Neural Plasticity*, 2016(1), 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/4583674>

Mann, C.A., Serman, M.B., Kaiser, D.A. (1996). Suppression of EEG Rhythmic Frequencies during Somato-Motor and Visuo-Motor Behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1-2), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(96\)00036-0](https://doi.org/10.1016/0167-8760(96)00036-0)

Milton, J., Solodkin, A., Hluštík, P., Small, S.L. (2007). The Mind of Expert Motor Performance is Cool and Focused. *NeuroImage*, 35(2), 804–813. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.01.003>

Napalkov, D.A., Ratmanova, P.O., Kolikov, M.B. (2009). Technical Methods of Diagnostics and Correction of the Functional State of the Shooter: Methodical recommendations. Moscow: Maks Press. (In Russ.)

Neuper, C., Pfurtscheller, G. (2001). Event-Related Dynamics of Cortical Rhythms: Frequency-Specific Features and Functional Correlates. *International Journal of Psychophysiology*, 43(1), 41–58. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00178-7)

Pfurtscheller, G. (2001). Functional Brain Imaging Based on ERD/ERS. *Vision Research*, 41, 10–11. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00235-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00235-2)

Pfurtscheller, G., Lopes Da Silva, F.H. (1999). Event-Related EEG/MEG Synchronization and Desynchronization: Basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842–1857. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00141-8)

Polikanova, I.S., Leonov, S.V., Yakushina, A.A., Bugriy, G.S., Kruchinina, A.P., Chertopolokhov, V.A., Lyutsko, L.N. (2022). Development of VR-PACE Virtual Reality Technology for Diagnosing and Training the Skill Level of Hockey Players. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 14. Psikhologiya = Moscow University Psychology Bulletin*, (1), 269–297. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.12>

Polikanova, I., Yakushina, A., Leonov, S., Kruchinina, A., Chertopolokhov, V., Liutsko, L. (2022). What Differences Exist in Professional Ice Hockey Performance Using Virtual Reality (VR) Technology between Professional Hockey Players and Free-style Wrestlers? (A Pilot Study). *Sports*, 10, 8. <https://doi.org/10.3390/sports10080116>

Salazar, W., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Han, M., Crews, D.J., Kubitz, K.A. (1990). Hemispheric Asymmetry, Cardiac Response, and Performance in Elite Archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(4), 351–359. <https://doi.org/10.1080/02701367.1990.10607499>

Sauseng, P., Hoppe, J., Klimesch, W., Gerloff, C., Hummel, F.C. (2007). Dissociation of Sustained Attention from Central Executive Functions: Local activity and interregional connectivity in the theta range. *European Journal of Neuroscience*, 25(2), 587–593. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05286.x>

Sauseng, P., Klimesch, W., Freunberger, R., Pecherstorfer, T., Hanslmayr, S., Doppelmayr, M. (2006). Relevance of EEG Alpha and Theta Oscillations during Task Switching. *Experimental Brain Research*, 170(3), 295–301. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0211-y>

Singer, R.N., Hausenblas, H.A., Janelle, C. (eds.). (2001). Handbook of sport psychology. 2nd ed. Hoboken: Wiley Publ.

Tyreman, H., Parker, J.R., Katz, L. (2008). Ice Hockey Goaltenders' Strategies, Reaction Times and Anticipation Times in Two- and Three-Dimensional Virtual Environments. In the Proceedings of First Joint International Pre-Olympic Conference of Sports Science and Sports Engineering (August, 4-7, 2008). (pp. 68–72). Liverpool: World Academic Union Publ.

Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., Gruzelier, J. (2003). The Effect of Training Distinct Neurofeedback Protocols on Aspects of Cogni-

tive Performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47(1), 75–85. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(02\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(02)00091-0)

Vogt, F., Klimesch, W., Doppelmayr, M. (1998). High-Frequency Components in the Alpha Band and Memory Performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15(2), 167–172.

Wilson, K., Snyder, G., Game, A., Quinney, A., Bell, G. (2010). The Development and Reliability of a Repeated Anaerobic Cycling Test in Female Ice Hockey Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 580–584. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb1a1>

Zhang, Y., Lu, Y., Wang, D., Zhou, C., Xu, C. (2021). Relationship between Individual Alpha Peak Frequency and Attentional Performance in a Multiple Object Tracking Task among Ice-Hockey Players. *Plos One*, 16(5), e0251443.

Zhuang, P., Toro, C., Grafman, J., Manganotti, P., Leocani, L., Hallett, M. (1997). Event-Related Desynchronization (ERD) in the Alpha Frequency during Development of Implicit and Explicit Learning. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102(4), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(96\)96030-7](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(96)96030-7)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина Сергеевна Поликанова, кандидат психологических наук, ведущая лабораторией конвергентных исследований когнитивных процессов Федерального научного центра психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация, irinapolikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Сергей Владимирович Леонов, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория психологии детства и цифровой социализации Федерального научного центра психологических и междисциплинарных исследований; доцент кафедры методологии факультета психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

ABOUT THE AUTHORS

Irina S. Polikanova, Cand. Sci. (Psychology), Head of the Laboratory of Convergent Studies of Cognitive Processes, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russian Federation, irinapolikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Sergey V. Leonov, Cand. Sci. (Psychology), Senior Researcher, Laboratory of Psychology of Childhood and Digital Socialization, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research; Associate Professor, Department of Methodology of Psychology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, svleonov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

Поступила: 26.03.2024; получена после доработки: 29.07.2024; принята в печать: 29.10.2024.

Received: 26.03.2024; revised: 29.07.2024; accepted: 29.10.2024.