

УДК: 316.6
doi: 10.11621/vsp.2022.01.12

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ VR-PACE ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ТРЕНИРОВКИ УРОВНЯ МАСТЕРСТВА ХОККЕИСТОВ

И.С. Поликанова^{*1}, С.В. Леонов^{*2}, А.А. Якушина³, Г.С. Бугрий⁴,
А.П. Кручинина⁵, В.А. Чертополохов⁶, Л.Н. Люцко⁷

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва, Россия, irinapolikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, svleонов@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, anastasia.ya.au@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4968-336X>

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, gregbugr@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, anna.kruchinina@math.msu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, psvr.msu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5945-6000>

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, liudmila_liutsko@yahoo.es, <http://orcid.org/0000-0002-2569-0760>

^{*} Авторы, ответственные за переписку: irinapolikanova@mail.ru, svleонов@gmail.com

Актуальность. В последнее десятилетие технологии виртуальной реальности (VR) активно внедряются в тренировочный процесс в разных видах спорта. Вместе с тем, существуют исследования, показывающие несоостоятельность VR для формирования спортивных навыков и их переноса в реальные условия. Но несмотря на это, использование VR может быть полезным для отработки специфических моторных навыков и когнитивных функций, например, антиципации.

Цель. Разработка технологии VR-PACE (VR Technology for training Puck hitting And hoCkey skill Effectiveness) с использованием виртуальной реальности, направленной на диагностику и анализ уровня мастерства хоккеиста, а также тренировку специальных навыков.

Методы. В рамках исследования была разработана имитационная виртуальная среда, моделирующая хоккейную площадку (ледовая арена в Сочи)

и задающая четыре уровня сложности (четыре блока), зависящие от скорости шайбы и расстояния до нее. В исследовании приняли участие 22 человека, 13 из которых были профессиональными хоккеистами ($\text{Mage} = 20 \pm 2,5$), а семь — новичками в хоккее ($\text{Mage} = 20 \pm 1,4$).

Результаты. Было выявлено, что профессиональные хоккеисты имеют значимо меньшую амплитуду колебаний головы во время отражения шайб, то есть они достаточно хорошо понимают положение своего тела во время определенных действий, и им не нужно наблюдать полную траекторию движения шайбы. Также были выявлены значимые различия в скорости реагирования на предъявляемые шайбы в блоке с самой быстрой скоростью предъявления двух шайб. Полученные результаты могут свидетельствовать о лучшей сформированности технико-тактического, временного и пространственного факторов у профессиональных хоккеистов.

Выводы. Была продемонстрирована адекватность разработанного инструментария для анализа профессиональных навыков хоккеистов. Также было показано, что уровень мастерства хоккеиста определяется сформированностью комплекса параметров, включающих пространственные, временные, технико-тактические способности. Это проявляется в автоматизации ряда навыков, а также оптимизации двигательных откликов: 1) более высокой и стабильной амплитудой движений на всем интервале наблюдений и минимизацией лишних движений; 2) более высокой скоростью реагирования на более сложные шайбы (приближенные к реальным игровым ситуациям); 3) концентрацией внимания на значимых сигналах, антиципация.

Ключевые слова: VR-PACE, виртуальная реальность, двигательная реакция, анализ позы, хоккей с шайбой, реакция на стимул.

Для цитирования: Поликанова И.С., Леонов С.В., Якушина А.А., Бугрий Г.С., Кручинина А.П., Чертополохов В.А., Люцко Л.Н. Разработка технологии виртуальной реальности VR-PACE для диагностики и тренировки уровня мастерства хоккеистов // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2022. № 1. С. 269–297. doi: 10.11621/vsp.2022.01.12

DEVELOPMENT OF VR-PACE VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY FOR DIAGNOSING AND TRAINING THE SKILL LEVEL OF HOCKEY PLAYERS

Irina S. Polikanova^{*1}, Sergey V. Leonov^{*2}, Anastasia A. Yakushina³,
Grigory S. Bugriy⁴, Anna P. Kruchinina⁵,
Victor A. Chertopolokhov⁶, Liudmila N. Lyutsko⁷

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, Higher School of Economics (HSE University), Moscow, Russia, irinapolikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, svleonov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, anastasia.ya.au@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4968-336X>

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, gregbugr@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, anna.kruchinina@math.msu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, psvr.msu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5945-6000>

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, liudmila_liutsko@yahoo.es, <http://orcid.org/0000-0002-2569-0760>

*Corresponding authors: irinapolikanova@mail.ru, svleonov@gmail.com

Relevance: in the last decade, virtual reality (VR) technologies have been actively introduced into the training process in various types of sports. At the same time, there are studies showing the inconsistency of VR for the formation of sports skills and their transfer to real conditions. But despite this, the use of VR can be useful for practicing specific motor skills and cognitive functions, for example, anticipation.

Objective: to develop VR-PACE technology (VR Technology for training Puck hitting And HOSKE skill Effectiveness) using virtual reality aimed at diagnosing and analyzing the skill level of a hockey player, as well as their training.

Methods: within the framework of the study, a simulation virtual environment was developed that simulates a hockey field (ice arena in Sochi) and sets four difficulty levels (four blocks) depending on the speed of the puck and the distance to it. The study involved 22 people, 13 of whom were professional hockey players ($\text{Mage} = 20 \pm 2.5$), and seven were beginners in hockey ($\text{Mage} = 20 \pm 1.4$).

Results: it was found that professional hockey players have a significantly smaller amplitude of head vibrations during the reflection of pucks, that is, they understand the position of their body well enough during certain actions, and they do not need to observe the full trajectory of the puck. There were also significant differences in the speed of response to the presented washers in the block with the fastest speed of presentation of 2 washers. The results obtained may indicate a better formation of technical and tactical, temporal and spatial factors in professional hockey players.

Conclusions: the adequacy of the developed tools for the analysis of professional skills of hockey players was demonstrated. It was also shown that the skill level of a hockey player is determined by the formation of a set of parameters, including spatial, temporal, technical and tactical abilities. This is manifested in the automation of a number of skills, as well as the optimization of motor responses:

1) higher and more stable amplitude of movements over the entire observation interval and minimization of unnecessary movements; 2) higher reaction speed to more complex pucks (close to real game situations); 3) concentration of attention on significant signals, anticipation.

Key words: VR-PACE, virtual reality, motor reaction, pose analysis, ice hockey, response to stimulus.

For citation: 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, P. 269–297. doi: 10.11621/vsp.2022.01.12

Введение

В последнее десятилетие технологии виртуальной реальности (VR) активно используются для развития, тренировки и совершенствования спортивных навыков (Gray, 2017); (Harris et al., 2020); (Michalski et al., 2019); (Song et al., 2012); (Tirp et al., 2015). Моделирование спортивных ситуаций в VR становится все более популярным для оценки формирования и обучения навыкам. Это связано с тем, что исследователи могут контролировать позиционные и временные параметры задачи, количество повторений без изменения условий окружающей среды, а также выбирать качество и количество обратной связи (Faure et al., 2020); (Shim et al., 2006). Вместе с тем существует ряд исследований, демонстрирующих несостоятельность технологий виртуальной реальности как метода формирования профессиональных навыков. В этих исследованиях отмечается, что виртуальная реальность не всегда способствует переносу отработанного навыка в реальность (Düking et al., 2018); (Todorov et al., 1997). Кроме того, виртуальная среда не всегда позволяет достичь эффекта полного присутствия (Vignais et al., 2015); (Katz et al., 2006); например, в VR среде довольно сложно организовать тренировку навыков, связанных с контактом с другими спортсменами или навыков командного игрока (Le Noury et al., 2021). Однако VR позволяет спортсмену тренировать когнитивные функции, а также подкомпоненты навыков (Lammfromm & Gopher, 2011) необходимые для высокой производительности (например, распределение внимания, долговременная память и т.д.); а также тренировать проприоцептивные или автоматизи-

ческие движения, которые работают быстрее за счет многократного повторения, но при этом включают специфические индивидуальные особенности, такие как интеграция зрения и телесно-ориентированных (проприоцептивных) систем координат (Ingram et al., 2000); (Tous Ral & Liutsko, 2014), и отрабатывать движения без риска для здоровья спортсмена, поскольку риск травмы снижен. Кроме того, VR позволяет спортсмену тренироваться за пределами своих возможностей в реальной среде, и более эффективно отслеживать прогресс спортсмена (Farley et al., 2019); (Michalski et al., 2019; Tsai et al., 2019).

Отличительные особенности хоккейных тренировок

Успех хоккеистов обусловлен специфическими навыками, связанными с высоким мышечным и когнитивным напряжением, а также интенсивностью работы с максимальной отдачей в течение определенного периода времени (Bishop et al., 2003); (Wilson et al., 2010). Успех хоккеиста зависит также от навыков катания, которые, в свою очередь, требуют оптимальной координации суставов нижней части тела и мышечной силы как для движения тела, так и для динамической устойчивости (Chang et al., 2009); (Tyler et al., 2001). Именно поэтому наиболее характерными показателями мастерства хоккеистов являются показатели, связанные со скоростью катания, скоростью реакции и координацией движений. Эти показатели позволяют отличить профессиональных игроков от новичков (Marino, 1977); (Blanár et al., 2020).

Кроме того, навыки катания хоккеистов анализируются с помощью кинематического анализа изменений углов в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах (Marino, 1977); (McCaw et al., 1987). Исследование Дж. Шелла и коллег (Shell et al., 2017) показало, что изменения углов тазобедренного и коленного суставов и их кинематики могут существенно влиять на скорость хоккеистов, причем у мужчин-хоккеистов она значительно выше по сравнению с женщинами (Shell et al., 2017). Исследование Т. Апджона и коллег (Urpjohn et al., 2008) показало, что более опытные и титулованные хоккеисты имеют большие углы отклонения бедра и колена во время катания по сравнению с менее опытными.

Также исследование Д. Лафонтена (Lafontaine, 2007) продемонстрировало, что изменения углов коленных суставов значительно связаны со скоростью катания хоккеистов, то есть чем больше скорость спортсмена для выполнения маневра, тем значительнее изменения, происходящие в углах коленных суставов (Lafontaine, 2007). Кроме того, следует отметить, что мастерство хоккеиста определяется спо-

способностью предвидеть, быстро переключаться между задачами и быть устойчивым к возрастающим раздражителям вокруг себя при выполнении ведущей деятельности с возрастающими раздражителями вокруг (Fait et al., 2011); (Fortier et al., 2014); (Morris-Binelli et al., 2021).

Многие исследования подтверждают, что спортсмены экспертного уровня превосходят новичков в специфических для спорта задачах, включающих принятие решений, прогнозирование, пространственную память, точность ответа и время реакции (Azraai et al., 2017); (Bracko et al., 1998); (Mann et al., 2007); (Buns, 2020). Можно предположить, что не только скорость катания, но и показатели стабильности и восприимчивости к игровым движениям могут рассматриваться специально для различения уровня мастерства хоккеистов.

Анализируя литературу, мы не нашли исследований, в которых бы сравнивались кинематические характеристики бедер, коленей и головы у профессиональных хоккеистов и новичков. Однако для нашего исследования представлялось важным сосредоточиться на этих характеристиках и изучить возможные различия.

Использование VR в хоккее

Несмотря на ранее описанные ограничения VR, нам показалось актуальным, в дополнение к существующим методам диагностики мастерства хоккеистов, создать специализированную среду с использованием системы виртуальной реальности для анализа их профессиональных навыков, которая также может быть использована для тренировок и наблюдения за динамическими изменениями. Важно отметить, что существует довольно мало исследований по использованию VR в хоккее. Например, в исследовании М. Бунса (Buns, 2020), основанном на идее, что виртуальные тренировки являются эффективным инструментом для повышения спортивного мастерства, было показано, что отработка хоккейных элементов в виртуальной среде влияет на эффективность тренировок в реальном мире. Кроме того, исследование Х. Тиремана и коллег (Tyureman et al., 2008) показало, что в смоделированной трехмерной среде время реакции профессиональных хоккейных вратарей и новичков не отличалось. Тем не менее, детальный сравнительный анализ показателей, полученных с использованием трехмерного пространства, позволил определить особый тип броска, который был характерен только для профессионалов (Tyureman et al., 2008).

Исследований, сравнивающих специфические характеристики хоккеистов и других спортсменов, мало. Поэтому, чтобы определить

особенности профессиональных хоккеистов, мы решили сравнить особенности выполнения технических упражнений в хоккее у профессиональных хоккеистов и новичков. Группа новичков состояла преимущественно из борцов вольного стиля. Важно отметить, что борьба и хоккей имеют некоторые сходные черты: и у хоккеистов, и у борцов хорошо развиты навыки предвидения действий соперника и скорости реакции на отражение внешних воздействий (Azraai et al., 2017); (Isaev et al., 2016); (Mori et al., 2002). В то же время существенные различия между этими видами спорта позволят нам выделить специфические характеристики непосредственно для хоккеистов. В рамках проведенного исследования основной целью была разработка и апробация технологии виртуальной реальности VR-PACE, направленной на диагностику уровня мастерства хоккеистов, а также на тренировку специфических профессионально важных качеств хоккеиста. Также ставилась задача определить, существуют ли различия в профессиональных хоккейных показателях (эффективность отбивания шайб, показатели стойки хоккеиста, двигательные и зрительно-моторные реакции на появление шайбы) между профессиональными хоккеистами и новичками в хоккее.

Методы

Изучение Статических характеристик основной стойки у профессиональных хоккеистов и новичков

Реализация исследования проводилась в несколько этапов. На первом этапе была разработана виртуальная среда, адаптированная для систем виртуальной реальности экранного типа CAVE-system (Cave active virtual environment)¹, а также для носимой системы виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye², которая позволяет проводить моделирование основных характеристик стойки и основных навыков хоккеистов в условиях лабораторного эксперимента.

Основной целью этого этапа была запись статичных характеристик (поза тела) у хоккеистов и новичков, а также сравнение двух систем DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0 по качеству записи.

На этом этапе нами было проведено пилотное исследование статических характеристик стойки у хоккеистов по сравнению с

¹ Здесь представлена информация о разработке CAVE-system <http://www.visbox.com/products/cave/>

² Здесь представлено описание ВР системы HTC Vive Pro Eye <https://www.vive.com/eu/>

новичками с использованием систем позиционного отслеживания движений DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0. В исследовании приняли участие 10 испытуемых — 4 профессиональных хоккеиста и 6 новичков (средний возраст — 20 лет). Задача испытуемых заключалась в принятии основной стойки хоккеиста и нахождение в ней в течении 5 минут (рис. 1) (Поликанова и соавт., 2020). В целях обеспечения экологической валидности исследования все испытуемые надевали защитное снаряжение (коленные щитки, шлем, перчатки), а также коньки и брали в руку клюшку. В качестве напольного покрытия использовался специальный искусственный лед из пластика. Отслеживаемые трекеры были закреплены на хоккейной форме: щитках на голень, на бедре, груди, коньках, перчатках и клюшке (рис. 1). Для анализа были выбраны изменения углов в коленных и тазобедренных суставах. В силу большой жесткости конька исследования изменения угла в голеностопном суставе оказывается не информативным.



Рис. 1. Использование системы DTrack2 (слева) и SteamVR Tracking 2.0 (справа)

Fig. 1. Using the D Track 2 system (left) and SteamVR Tracking 2.0 (right)

По результатам анализа данных позиционного отслеживания с систем DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0 было показано, что профессиональные хоккеисты при сохранении стойки характеризуются большей амплитудой колебаний, чем новички, которые не имели опыта игры в хоккей. Опытные хоккеисты имели характерные изменения углов в суставах: 1° – 3° . Новички же характеризовались колебаниями с амплитудой, не превосходящей 1° . Это может быть обусловлено отсутствием автоматизации навыка сохранения основной стойки,

что требует участия более сложных механизмов, в том числе более активное включение регуляторных систем организма, что в итоге проявляется в меньшей амплитуде колебаний (Поликанова и соавт., 2020); (Лашкул, Федорова, 2020); (Леонов и соавт., 2020). Также анализ движений с использованием системы DTrack2 и системы SteamVR Tracking 2.0 показали идентичные результаты, что расширяет возможности использования системы SteamVR Tracking 2.0. Дальнейший этап исследования проводился с использованием системы SteamVR Tracking 2.0.

Разработка VR технологии (VRPACE) для тренировки и диагностики уровня мастерства хоккеистов

На следующем этапе исследование проводилось с использованием системы SteamVR Tracking 2.0. Разработанная ранее имитационная виртуальная среда, моделирующая хоккейную площадку, была дополнена возможностью предъявлять шайбы разного уровня сложности. Сложность определялась расстоянием до шайбы, ее скоростью, а также количеством предъявляемых шайб. В задачи испытуемого входило отражение всех предъявляемых шайб. Примерный виртуальный контент представлен на рис. 2.

VR сцена была создана с применением графического ПО Unity3d¹. В состав виртуальной сцены были включены следующие элементы: (1) модель хоккейной площадки; (2) модели клюшки и шайбы; (3) параметры: температура льда, материалы шайбы и коньков загружаются в физическую модель для моделирования движения шайбы.

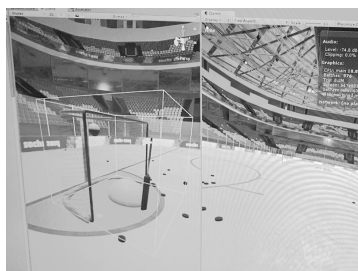


Рис. 2. Пример виртуального контента

Fig. 2. Example of virtual content

¹ Здесь представлена информация о ПО Unity3d <https://unity.com/>

Виртуальная среда разрабатывалась с учетом экспертной оценки профессиональных хоккейных игроков и тренеров. Данная оценка проводилась по ряду параметров, включая реалистичность среды, оценку скоростных характеристик шайбы, уровень сложности задач. В частности, совместно с экспертами было принято решение о подсвечивании сектора поля (правого, центрального, левого), из которого будет предъявляться шайба, поскольку в отсутствие игроков на поле хоккеисту крайне сложно ориентироваться (в реальных игровых ситуациях не бывает полностью пустого поля) (рис. 3). Угол обзора шлема ограничен 110° . Эта область была поделена соответственно на 3 зоны, условно (так как в реальности эти зоны геометрически приблизительно представляют собой конусы, а в данном случае — призмы) соотносимые с зонами поля зрения человека: (1) зона четкого бинокулярного зрения (40°) и (2) правая и (3) левая зоны периферического бинокулярного зрения (по 35°).

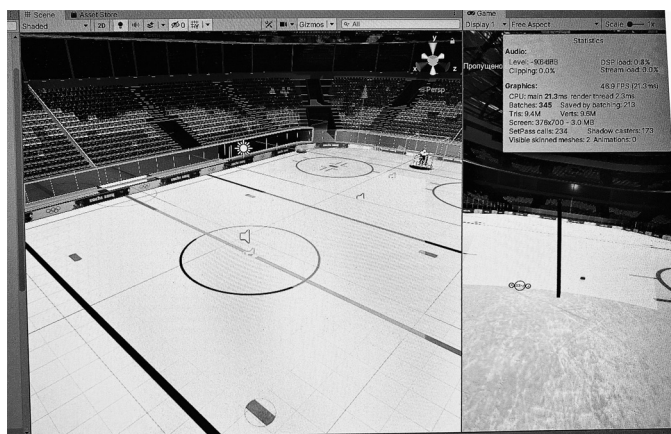


Рис. 3. Пример подсветки сектора поля (слева — общий вид, справа — вид перед испытуемым)

Fig. 3. An example of highlighting a field sector (on the left — a general view, on the right — a view in front of the subject)

Характеристики виртуальной среды и параметры предъявления шайб

Виртуальная среда отображает окружение с позиции хоккеиста, находящегося на линии ворот. Испытуемый от первого лица видит тело своего виртуального аватара, держа в руках клюшку (клюшка в

виртуальной среде совпадает с клюшкой в реальности). Экипировка хоккеиста соответствует полемому игроку, поскольку основная цель исследования направлена на тренировку и совершенствование мастерства именно полевых хоккеистов. Кроме того, экипировка вратарей, а также их двигательные паттерны и тактика игры значительно отличаются от полевых игроков. Других игроков на площадке нет. В случайном порядке предъявляются шайбы, которые нужно отбить. Задача игрока — отбить все шайбы, летящие в его сторону. При предъявлении шайб варьируются расстояние до игрока, направление и скорость полета, каждый вылет шайбы сопровождается характерным звуком — щелчком. Непосредственно перед предъявлением шайбы подсвечивался желтым цветом сектор поля, откуда предъявляется шайба. Игроку необходимо отбить шайбу только клюшкой. Шайбы, отбитые другим способом, не засчитываются.

В VR-среде полностью отсутствуют люди — как зрители, так и другие игроки. Мы выделили единицу анализа хоккейной игры — хоккеист, отбивающий шайбу. При этом мы смоделировали различные уровни сложности для выбранной единицы анализа. Таким образом, использованная нами VR-среда не имитирует игру полностью, а моделирует конкретную единицу игры.

Шайбы предъявляются в случайном порядке с разной скоростью (5 скоростей — 60, 80, 100, 130, 170 км/ч), с разного расстояния (18, 12 и 6 метров) и разной локализации (право/лево/центр). Кроме того, предусматривается два варианта высоты предъявления шайб — на уровне льда, а также на высоте около 50 см над его уровнем.

Средняя скорость полета шайбы в профессиональном хоккее — 110–120 км/ч (Pearsall et al., 1999; Wu et al., 2003), максимальная — 170–190 км/ч (Cross & Lindsey, 2018). Расстояния от шайбы до игрока — 18, 12 и 6 метров, что обусловлено расстоянием от ворот до ближней синей линии — 18 метров, ближняя зона вброса — около 6 метров, основная игра в средней зоне — условно 12 метров.

Выбор скоростей и расстояний осуществлялся в несколько этапов. Предварительная идея заключалась в том, чтобы сделать более широкий диапазон скоростей, например, с шагом в 10 км/ч. Но предварительные измерения показали, что использование различных скоростей с небольшим шагом субъективно воспринимается одинаково, но значительно удлиняет эксперимент. Чтобы определить минимальное и в то же время достаточное количество параметров (различных скоростей и расстояний), мы провели тестовые записи, в том числе с участием профессиональных хоккеистов и хоккейного

тренера. При выборе скоростей мы ориентировались на максимально широкий диапазон: от медленных (когда хоккеист точно видит шайбу), например 60 км/ч; средних скоростей — 80, 100 и 130 км/ч; и максимально возможной — 170 км/ч.

Имитация бросков шайб включает несколько блоков сложности: от самого простого к самому сложному, когда предъявляется 2 шайбы с минимальной задержкой:

1 блок — самый простой блок с низкими скоростями шайбы (60–80 км/ч) и дальними расстояниями до шайбы (18 метров), отбить могут даже новички, не играющие в хоккей;

2 блок — более сложный режим, скорости выше (60–80 км/ч, а также 100 км/ч), добавляются средние расстояния до шайбы (12 и 18 метров). Ориентирован на средний уровень мастерства;

3 блок — сложный режим с высокими скоростями (до 170 км/ч) и всеми расстояниями, включая близкие (6, 12, 18 метров);

4 блок — максимально сложный режим — предъявление шайб сериями по две (последовательное с промежутком около 1 сек.).

Игроку дается следующая инструкция: Необходимо отбивать клюшкой все шайбы, летящие в ворота. Шайбы подаются случайным образом с разных расстояний и направлений и с разной начальной скоростью. Каждая шайба запускается с определенным звуком щелчка. Непосредственно перед подачей шайбы участок поля, с которого стартует шайба, освещается желтым светом. Шайбы, по которым не попали клюшкой, не засчитываются. Шайбы предъявляются блоками, которые в свою очередь различаются сложностью в зависимости от скорости шайбы и расстояния подачи. Чем ближе расстояние и выше скорость, тем сложнее блок. Первым идет Блок 1 — самый простой, с низкой скоростью шайбы (60–80 км/ч) и большим расстоянием до шайбы (18 м), поэтому даже новички без опыта игры в хоккей смогут попасть по ней. Блок 2 — более сложный, скорости выше (60–80 км/ч и 100 км/ч), средние расстояния до шайбы больше (12 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 предъявляются серией по две (последовательно с интервалом в 1 с). В блоке 5 испытуемый не должен отбивать шайбы, а только внимательно наблюдать и отслеживать шайбы, которые предъявляются со случайной сложностью. Интервал между шайбами составляет 3 с каждая шайба запускается со звуком щелчка. После каждой шайбы игрок должен смотреть в центр поля. Результаты блока 5 не рассматривались в данной статье.

Определение сложности предъявления шайб

Быстрота реакции на движущийся объект при внезапном его появлении занимает от 0,25 до 1 сек. (Strughold, 1956). Таким образом, нами был выбран диапазон значений длительности полета шайбы, которые «вписываются» в границы значений времени двигательной реакции на объект. Данный диапазон был разделен на три равных промежутка, в соответствии с чем были определены уровни сложности проб, соответствующие блокам 1–3: от 0,792 сек до 1,08 сек — «простые» пробы; от 0,504 сек до 0,792 сек — пробы средней степени сложности; от 0,216 сек до 0,504 сек — «сложные» пробы. Блок 4 включал шайбы всех уровней сложности (табл. 1).

Таблица 1

Параметры предъявления шайбы в 4 блоке

Расстояние до шайбы, м	метры	Скорость шайбы, км/ч (м/сек.)				
		60 (16,67)	80 (22,22)	100 (27,78)	130 (36,11)	170 (47,22)
18		1,08	0,81	0,65	0,50	0,38
12		0,72	0,54	0,43	0,33	0,25
6		0,36	0,27	0,22	0,17	0,13

Определение сложности проб (от 0,792 сек. до 1,08 сек. — «простые» пробы; от 0,504 сек. до 0,792 сек. — пробы средней степени сложности; от 0,216 сек. до 0,504 сек. — «сложные» пробы; минимальное значение времени полета шайбы — 0,216 сек.; максимальное значение — 1,08 сек.)

Table 1

Puck presentation parameters in block 4

Distance to the puck	meters	Puck speed, km/h (m/sec)				
		60 (16.67)	80 (22.22)	100 (27.78)	130 (36.11)	170 (47.22)
18		1.08	0.81	0.65	0.50	0.38
12		0.72	0.54	0.43	0.33	0.25
6		0.36	0.27	0.22	0.17	0.13

Determination of the complexity of samples (from 0.792 sec. to 1.08 sec. — “simple” samples; from 0.504 sec. to 0.792 sec. — samples of medium complexity; from 0.216 sec. to 0.504 sec. — “complex” samples; minimum value of the flight time of the washer — 0.216 sec.; maximum value — 1.08 sec.)

В воротах были выделены 5 зон, в которые чаще всего направлены удары: по углам (точки 1, 2, 3 и 4) и между ног вратаря (в «домик» — точка 5) (рис. 4). В шлеме виртуальной реальности на заданных нами параметрах невозможно отбить шайбу в классических зонах 3 и 4 (поскольку засчитываются только шайбы, отбитые клюшкой). В связи с этим, зоны попадания шайбы 3 и 4 предлагается скорректировать (рис. 4).

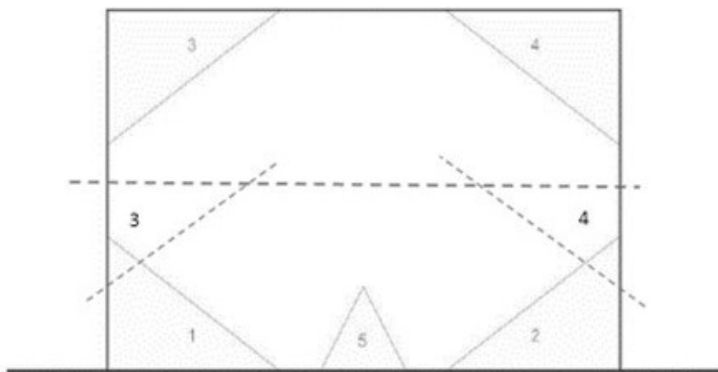


Рис. 4. Точки наиболее часто забрасывания шайб в хоккее, адаптированные под условия эксперимента (пунктирные линии)

Fig. 4. The points of the most frequent puck throwing in hockey, adapted to the experimental conditions (dotted lines)

Испытуемые

В исследовании приняли участие 22 испытуемых (средний возраст — $20 \pm 2,3$ года; 100% муж.), в том числе 13 хоккеистов и 9 испытуемых, не занимающихся хоккеем. Профессиональный уровень оценивался по количеству лет стажа и по наличию разрядов. Средний возраст стажа составил $14,18 \pm 3,8$ лет. Разряды варьировали от 3 юношеского до КМС.

Анализируемые параметры

Перемещения частей тела испытуемого и клюшки регистрировались только с использованием системы SteamVR Tracking 2.0. Отслеживающие трекеры крепились на хоккейной форме так же, как и на первом этапе (на щитках на голень, на бедре, груди, перчатках и клюшке).

Виртуальная сцена воспроизводилась в среде Unity. Данная система позволяет отображать виртуальную сцену и регистрировать

движения игрока. Запись проводилась с использованием приложения XR, которое позволяет регистрировать позиции и повороты отслеживаемых трекеров. Для задач исследования вертикальной позы человека разработаны частотные методы, которые можно было бы применить к инерциальным данным от трекеров, получение которых потенциально возможно, но не реализовано при выбранном дизайне эксперимента. Использование перспективных частотных методов, как и на профессиональных системах отслеживания движений, так и на данных с системы SteamVR Tracking 2.0 затруднено неравномерностью шага времени. Исходя из этого мы сосредоточились на применении менее чувствительных к шагу времени и не требующих применения дифференцирования методах анализа, применяемых для анализа вертикальной позы (Walsh et al., 2018). В связи с этим в нашем исследовании мы ограничились рассмотрением вероятностных характеристик выбранных переменных.

Движения позы испытуемого и палки регистрировались с помощью системы SteamVR Tracking 2.0.

Для статистического анализа данных использовалась программа Statistica 8 (для Windows, V 8.0, StatSoft). Мы применили непараметрический критерий Манна–Уитни для сравнения группы хоккеистов и новичков.

Статистический анализ данных проводился по следующим показателям:

1. Визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов (правых и левых), а также головы.
2. Отбитые и пропущенные шайбы.
3. Время двигательного отклика на подсветку сектора (RT1).
4. Время реагирования клюшкой (RT2).

Результаты

Визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов

Для анализа двигательного отклика на появление шайбы наиболее информативно оказалось рассмотрение среднеквадратичного отклонения изменения углов в каждом из суставов. Профессиональные игроки характеризуются четкими и стабильными двигательными паттернами в ответ на предъявление шайбы, что проявляется как синхронными и симметричными изменениями углов в тазобедренных и коленных суставах (рис. 5). У новичков такая стабильность и симметричность отсутствуют (рис. 6).

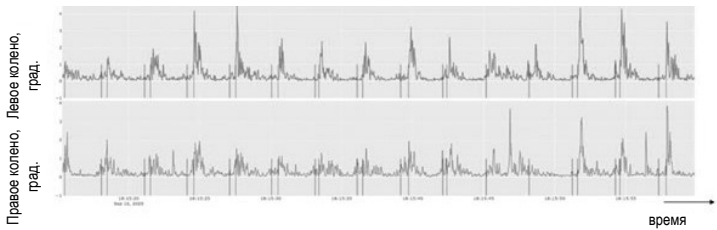


Рис. 5. Изменение углов в коленных суставах у профессионального хоккеиста (19 лет стажа)

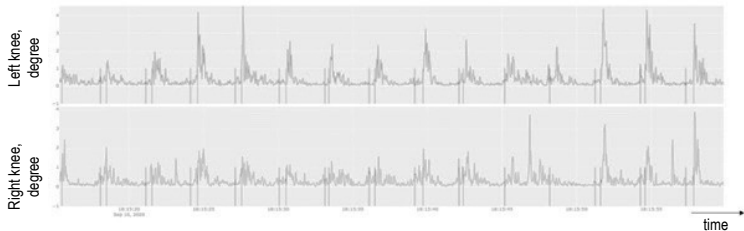


Fig. 5. Change of angles in knee joints of a professional hockey player (19 years of experience)

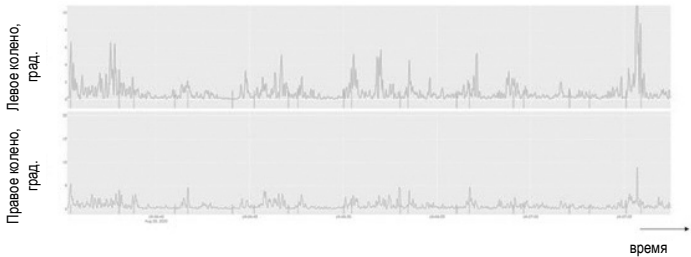


Рис. 6. Изменение углов в коленных суставах у новичка

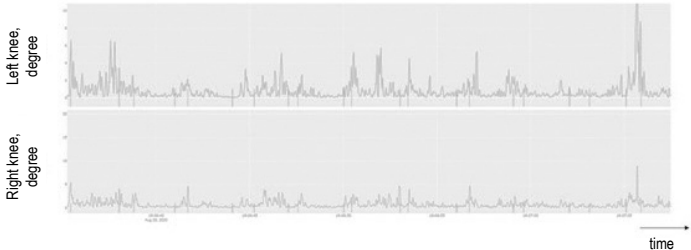


Fig. 6. Change of angles in the knee joints of a beginner

Количество отбитых/пропущенных шайб, скорость реакции и показателей двигательной активности у группы хоккеистов и группы новичков

Статистический анализ (Mann–Whitney U-test) показал значимые различия между группами по количеству пропущенных шайб в третьем блоке (9 vs 10.56; $p \leq 0,05$), а также различия на уровне тенденции по количеству отбитых шайб только в 3 блоке (4.85 vs 3.44, $p \leq 0.06$).

Для параметра времени двигательного отклика на предъявление шайб различий между двумя группами обнаружено не было.

Для скорости реакции клюшкой значимые различия в скорости реагирования между хоккеистами и новичками были обнаружены в блоке 4 (в случае успешных проб).

Помимо этого, результаты статистического анализа (Mann–Whitney U-test) демонстрируют, что профессиональные хоккеисты отличаются значимо меньшей амплитудой колебания головы во время выполнения заданий (0.66 vs 1.26, $p \leq 0.05$).

Обсуждение

В данном исследовании была проведена комплексная работа, включающая разработку специализированной среды с использованием системы виртуальной реальности для анализа профессиональных навыков хоккеистов VR-PACE (VR Technology for training Puck hitting And hoCkey skill Effectiveness); а также ее апробация на группе профессиональных хоккеистов и новичков в хоккее.

Разработанная виртуальная среда VRPACE имитирует хоккейную площадку и моделирует тренировку хоккейных навыков. Нами была выделена единица анализа хоккейной игры — хоккеист, отбивающий шайбу. В VR было смоделировано несколько задач (блоков) разного уровня сложности. В рамках проведенной апробации среды VR-PACE был проведен дискриптивный и статистический анализы по следующим параметрам: визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов (правых и левых), а также головы; количество отбитых и пропущенных шайб; время двигательного отклика на подсветку сектора (RT1); время реагирования клюшкой (RT2).

В результате проведенного исследования было продемонстрировано, что у профессиональных хоккеистов, в отличие от новичков, наблюдается более высокая и стабильная амплитуда колебаний показателей движений на всем интервале наблюдений. Это может быть связано с тем,

что у профессиональных хоккеистов уже сформировалась определенная устойчивая реакция на значимые стимулы (Polikanova et al., 2021). Помимо этого, профессиональные игроки характеризуются четкими и стабильными двигательными паттернами в ответ на предъявление шайбы, что может свидетельствовать об оптимизации затрат ресурсов.

Профессиональные хоккеисты также показали значительно меньшую амплитуду колебаний головы, что может свидетельствовать о хорошо сформированном пространственном факторе. Это означает, что хоккеисты достаточно хорошо понимают положение своего тела во время определенных действий, поэтому им не нужно наблюдать полную траекторию движения шайбы, и они быстрее её замечают (Montgomery, 1988). Это может свидетельствовать о том, что показатели стабильности движения определенных частей тела, в частности, головы, могут быть критерием, указывающим на высокое мастерство хоккеиста.

Также были выявлены значимые различия в скорости реагирования на предъявляемые шайбы в блоке с самой быстрой скоростью предъявления (Блок 4), который характеризуется также одновременным предъявлением двух шайб. Полученные результаты могут свидетельствовать о лучшей сформированности технико-тактического, временного и пространственного факторов у профессиональных хоккеистов. Мы полагаем, что в 4-м блоке при одновременном предъявлении двух шайб могут проявляться элементы непосредственной игры. При том, что аналогичной ситуации с двумя шайбами в реальной игре быть не может, но часто нужно совершать маневры и быстро принимать решения. Таким образом, в данном случае имитируется «маневренность» игры.

В нашем исследовании обе группы испытуемых практически не отличались по количеству отбитых шайб. На наш взгляд, это может быть связано с тем, что для хоккеистов и борцов одинаково важны такие навыки, как скорость реакции и предвидение, что помогает им в отражении шайбы. В борьбе также необходимо уметь достаточно хорошо владеть пространственной ситуацией и быстро реагировать на действия соперника (Isogawa et al., 2018). Мы предполагаем, что увеличение количества участников исследования позволит выявить значимые различия между новичками и профессионалами не только в скорости реакции, но и в количестве отбитых и пропущенных шайб.

Таким образом, уже на основании данного исследования можно говорить о наличии определенных двигательных паттернов, анализируя которые, можно отличить профессионального хоккеиста от новичка. Подобные различия дают возможность для создания в

будущем специализированного тренинга в виртуальной реальности для повышения профессионального мастерства хоккеистов.

Таким образом, была разработана и апробирована VR технология VR-PACE, которая позволяет проводить комплексный анализ двигательной активности атлетов, включающий оценку зрительно-моторных реакций, сохранение позы (на основе анализа среднеквадратичных отклонений изменения углов в суставах), анализ двигательного реагирования в ответ на предъявление шайбы и/или предупреждающих стимулов. Данная технология позволяет также проводить одновременную регистрацию комплекса психофизиологических показателей — электроэнцефалограммы, электрокардиограммы, регистрацию движений глаз. Преимуществом такого подхода является высокая экологическая валидность.

В то же время нам представляется важным подчеркнуть, что разработанная система VR-PACE является дополнительным средством для оптимизации процесса подготовки хоккеистов, и не направлена на замещение тренировок на льду. Данная система является лишь дополнительным инструментом тренировки спортсменов. Так, например, созданная система позволяет моделировать более сложные ситуации, чем те, что происходят на льду (высокая скорость предъявления шайб, последовательное предъявление двух шайб с минимальной паузой между ними) для оттачивания навыка быстрого реагирования на предъявляемые стимулы. Кроме того, система виртуальной реальности позволяет дополнить реальные тренировки за счет использования опосредствующих способов формирования навыка (создание образов), которые повышают эффективность освоения движений у спортсменов и повышения мастерства (Poolton et al., 2006); (Veraksa et al., 2012).

Таким образом, разработанная система VR-PACE создана как средство, которое можно рассматривать как один из способов оптимизации и ускорения процессов освоения профессиональных навыков хоккеистами. На наш взгляд, сочетание традиционных тренировок с тренировками в VR может способствовать повышению результативности хоккеистов, как это было продемонстрировано в других видах спорта (Superus, van der Ham, 2016); (Леонов и соавт., 2020); (Wood et al., 2021).

Ограничения

Данное исследование имеет некоторые ограничения. Первое — это небольшой размер выборки. Поскольку в исследовании участво-

вали хоккеисты с высоким уровнем спортивного мастерства, доступ к которым довольно ограничен — особенно с учетом пандемии коронавируса — выборка в целом была невелика. Кроме того, запись каждого теста занимала довольно продолжительное время из-за необходимости надевать хоккейную экипировку, закреплять датчики и настраивать VR-оборудование.

Еще одним важным ограничением нашего исследования является использование методов VR для диагностики профессионального мастерства хоккеистов. VR все еще является методом, который не всегда показывает стабильные результаты передачи навыков. Поэтому для оценки профессионального мастерства хоккеистов следует рассматривать и другие показатели (когнитивные тесты, упражнения на поле и т.д.). Дальнейшие исследования с увеличенным размером выборки и добавлением других видов спорта или людей без профессиональной спортивной подготовки могут помочь лучше понять различия в приобретении хоккейных профессиональных навыков с помощью VR. Продольные исследования были бы полезны для отслеживания динамики и скорости приобретения профессиональных навыков с использованием VR.

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана и апробирована VR технология VR-PACE, которая позволяет проводить комплексный анализ двигательной активности атлетов, включающий оценку зрительно-моторных реакций, сохранение позы (на основе анализа среднеквадратичных отклонений изменения углов в суставах), анализ двигательного реагирования в ответ на предъявление шайбы и/или предупреждающих стимулов. Результаты исследования показали, что профессиональные хоккеисты характеризуются специфическим паттерном двигательных реакций по сравнению с новичками (преимущественно тоже спортсменами), которые в свою очередь позволяют им более эффективно реализовывать спортивную деятельность. По итогам апробации разработанной VR технологии VR-PACE было показано, что уровень мастерства хоккеиста определяется сформированностью комплекса параметров, включающих пространственные, временные, технико-тактические способности. Это проявляется в автоматизации ряда навыков, а также оптимизации двигательных откликов: 1) более высокой и стабильной амплитудой движений на всем интервале наблюдений и минимизацией лишних движений; 2) более высокой скоростью реагирования на более сложные шайбы (приближенные к реальным игровым ситуациям); 3) концентрацией внимания на значимых сигналах, антиципация.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект РНФ 19-78-10134.

Funding. The research was supported by the Russian Science Foundation, project number 19-78-10134.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лаишкул А., Федорова М. Методические особенности обучения технике двигательных действий юных хоккеистов-вратарей на начальном этапе подготовки. В сборнике Оптимизация учебно-воспитательного и тренировочного процесса в учебных организациях высшего образования. Здоровый образ жизни как фактор профилактики наркомании. Материалы Всероссийской Научно-Практической Конференции / Под ред. Е.В. Панова. Красноярск. 2020. doi: 10.51980/2020_28_161

Леонов С., Поликанова И., Кручинина А., Бугрий Г., Булаева Н., Сухочев П. Сравнение постурального баланса у профессиональных хоккеистов и новичков // материалы международного форума Cognitive Neuroscience. Екатеринбург. 2020.

Леонов С.В., Поликанова И.С., Булаева Н.И., Клименко В.А. Особенности использования виртуальной реальности в спортивной практике // Национальный психологический журнал. 2020. № 1 (37). С. 18–30. doi: 10.11621/npj.2020.0102

Поликанова И.С., Леонов С.В., Сухочев П.Ю., Бугрий Г.С., Кручинина А.П. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки хоккеистов разного уровня мастерства. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по спортивной науке: Подготовка спортивного резерва. Под ред. М.: ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта. 2020

Azraai, N.Z., Awang Soh, A.A.S., Mat Jafri, M.Z. (2017). Power estimation of martial arts movement using 3D motion capture camera. Proceedings Volume 10335, Digital Optical Technologies; 103351T. doi: 10.1117/12.2270135

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. doi: 10.1016/S1440-2440(03)80255-4

Bracko, M.R., Fellingham, G.W., Hall, L.T., Fisher, A.G., Cryer, W. (1998). Performance skating characteristics of professional ice hockey forwards. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 8(3), 251–263. doi: 10.1080/15438629809512531

Buns, M. (2020). Impact of virtual reality training on real-world hockey skill: an intervention trial. *Journal of Sports Science*, 8(1). doi: 10.17265/2332-7839/2020.01.002

Chang, R., Turcotte, R., Pearsall, D. (2009). Hip adductor muscle function in forward skating. *Sports Biomechanics*, 8(3), 212–222. doi: 10.1080/14763140903229534

Cross, R., Lindsey, C. (2018). The Slap Shot in Ice Hockey. *The Physics Teacher*, 56(1), 7–9. doi: 10.1119/1.5018677

Cuperus, A.A., van der Ham, I.J.M. (2016). Virtual reality replays of sports performance: Effects on memory, feeling of competence, and performance. *Learning and Motivation*, 56, 48–52. doi: 10.1016/j.lmot.2016.09.005

Düking, P., Holmberg, H.C., Sperlich, B. (2018). The potential usefulness of virtual reality systems for athletes: a short SWOT analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 128. doi: 10.3389/fphys.2018.00128

- Fait, P.E., McFadyen, B.J., Reed, N., Zabjek, K., Taha, T., Keightley, M. (2011). Increasing task complexity and ice hockey skills of youth athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 112(1), 29–43. doi: 10.2466/05.10.23.25.PMS.112.1.29-43
- Farley, O.R.L., Spencer, K., Baudinet, L. (2019). Virtual reality in sports coaching, skill acquisition and application to surfing: a review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15(3). doi: 10.14198/jhse.2020.153.06
- Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., Kulpa, R. (2020). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 192–205. doi: 10.1080/02640414.2019.1689807
- Fortier, A., Turcotte, R.A., Pearsall, D.J. (2014). Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 13(4), 341–350. doi: 10.1080/14763141.2014.981852
- Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. *Frontiers in Psychology*, 8, 2183. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02183
- Harris, D.J., Buckingham, G., Wilson, M.R., Brookes, J., Mushtaq, F., Mon-Williams, M., Vine, S.J. (2020). The effect of a virtual reality environment on gaze behaviour and motor skill learning. *Psychology of Sport and Exercise*, 50, 101721. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101721
- Ingram, H.A., van Donkelaar, P., Cole, J., Vercher, J.L., Gauthier, G.M., Miall, R.C. (2000). The role of proprioception and attention in a visuomotor adaptation task. *Experimental Brain Research*, 132(1), 114–126. doi: 10.1007/s002219900322
- Isaev, A.V., Korshunov, A.V., Leonov, S.V., Sanoyan, T.R., Veraksa, A.N. (2016). Quantitative and qualitative indicators of developing anticipation skills in junior wrestling athletes. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 233, 186–191. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.10.191
- Isogawa, M., Mikami, D., Fukuda, T., Saijo, N., Takahashi, K., Kimata, H., Kashino, M. (2018). What can VR systems tell sports players? reaction-based analysis of baseball batters in virtual and real worlds. 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (pp.587–588). doi: 10.1109/VR.2018.8446073
- Katz, L., Parker, J., Tyremann, H., Kopp, G., Levy, R., Chang, E. (2006). Virtual reality in sport and wellness: Promise and reality. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4(1), 4–16.
- Lafontaine, D. (2007). Three-dimensional kinematics of the knee and ankle joints for three consecutive push-offs during ice hockey skating starts. *Sports Biomechanics*, 6(3), 391–406. doi: 10.1080/14763140701491427
- Lammfromm, R., Gopher, D. (2011). Transfer of skill from a virtual reality trainer to real juggling. *BIO Web of Conferences*, 1, 00054. doi: 10.1051/bioconf/20110100054
- Le Noury, P., Buszard, T., Reid, M., Farrow, D. (2021). Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, 39(4), 412–420. doi: 10.1080/02640414.2020.1823618
- Mann, D.T.Y., Williams, A.M., Ward, P., Janelle, C.M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457–478. doi: 10.1123/jsep.29.4.457
- Marino, G.W. (1977). Kinematics of ice skating at different velocities. research quarterly. *American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(1), 93–97. doi: 10.1080/10671315.1977.10762155

Michalski, S.C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T.J., Billinghurst, M., Loetscher, T. (2019). Getting your game on: using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLOS ONE*, 14(9), e0222351. doi: 10.1371/journal.pone.0222351

Montgomery, D.L. (1988). Physiology of ice hockey: *Sports Medicine*, 5(2), 99–126. doi: 10.2165/00007256-198805020-00003

Mori, S., Ohtani, Y., Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21(2), 213–230. doi: 10.1016/S0167-9457(02)00103-3

Morris-Binelli, K., Müller, S., van Rens, F.E.C.A., Harbaugh, A.G., Rosalie, S.M. (2021). Individual differences in performance and learning of visual anticipation in expert field hockey goalkeepers. *Psychology of Sport and Exercise*, 52, 101829. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101829

Pearsall, D., Montgomery, D., Rothsching, N., Turcotte, R. (1999). The influence of stick stiffness on the performance of ice hockey slap shots. *Sports Engineering*, 2(1), 3–11. doi: 10.1046/j.1460-2687.1999.00018.x

Polikanova, I., Yakushina, A., Leonov, S., Kruchinina, A., Chertopolokhov, V., Liutsko, L. (2021). Study of differences in motor reactions and performances in professional ice hockey players and not experienced participants using virtual reality (VR) technology [Preprint]. *Behavioral sciences*. doi: 10.20944/preprints202103.0776.v1

Poolton, J.M., Masters, R.S.W., Maxwell, J.P. (2006). The influence of analogy learning on decision-making in table tennis: Evidence from behavioral data. *Psychology of Sport and Exercise*, 7, 677–688.

Shell, J.R., Robbins, S.M.K., Dixon, P.C., Renaud, P.J., Turcotte, R.A., Wu, T., Pearsall, D.J. (2017). Skating start propulsion: three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 16(3), 313–324. doi: 10.1080/14763141.2017.1306095

Shim, J., Carlton, L.G., Kwon, Y.H. (2006). Perception of kinematic characteristics of tennis strokes for anticipating stroke type and direction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77(3), 326–339. doi: 10.1080/02701367.2006.10599367

Song, P., Xu, S., Fong, W.T., Chin, C.L., Chua, G.G., Huang, Z. (2012). An immersive VR system for sports education. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E95.D(5), 1324–1331. doi: 10.1587/transinf.E95.D.1324

Strughold, H. (1956) A simple classification of the present and future stages of manned flight. *Journal of Aviation Medicine*, XXVII, 328–331.

Tirp, J., Steingröver, C., Wattie, N., Baker, J., Schorer, J. (2015). Virtual realities as optimal learning environments in sport — A transfer study of virtual and real dart throwing. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 57(1), 57–69.

Todorov, E., Shadmehr, R., Bizzi, E. (1997). Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of Motor Behavior*, 29(2), 147–158. doi: 10.1080/00222899709600829

Tous Ral, J.M., Liutsko, L. (2014). Human errors: their psychophysical bases and the proprioceptive diagnosis of temperament and character (DP-TC) as a tool for measuring. *Psychology in Russia: State of the Art*, 7(2), 48–63. doi: 10.11621/pir.2014.0205

Tsai, W.L., Su, L., Ko, T.Y., Yang, C.T., Hu, M.C. (2019). Improve the decision-making skill of basketball players by an action-aware VR training system. 2019 IEEE

Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (pp.1193–1194). doi: 10.1109/VR.2019.8798309

Tyler, T.F., Nicholas, S.J., Campbell, R.J., McHugh, M.P. (2001). the association of hip strength and flexibility with the incidence of adductor muscle strains in professional ice hockey players. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(2), 124–128. doi: 10.1177/03635465010290020301

Tyreman, H., Parker, J.R., Katz, L. (2008). Ice hockey goaltenders' strategies, reaction times and anticipation times in two- and three-dimensional virtual environments. 7.IACSS Preolympic Congress on Computer Science in Sport, Nanjing, China.

Upjohn, T., Turcotte, R., Pearsall, D.J., Loh, J. (2008). Three-dimensional kinematics of the lower limbs during forward ice hockey skating. *Sports Biomechanics*, 7(2), 206–221. doi: 10.1080/14763140701841621

Veraksa, A.N., Gorovaya, A.E., Leonov, S.V., Pashenko, A.K., Fedorov, V.V. (2012). The possibility of using sign and symbolic tools in the development of motor skills by beginning soccer players. *Psychology in Russia: State of the art*, 5, 473–497.

Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, 39, 12–26. doi: 10.1016/j.humov.2014.10.006

Walsh, M., Slattery, E., McMath, A., Cox, R., Haworth, J. (2018). Training history constrains postural sway dynamics: A study of balance in collegiate ice hockey players. *Gait & Posture*, 66, 278–282. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.09.009

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. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ccb1a1

Wood, G., Wright, D.J., Harris, D. et al. (2021) Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25, 43–51. doi: 10.1007/s10055-020-00441-x

Wu, T.C., Pearsall, D., Hodges, A., Turcotte, R., Lefebvre, R., Montgomery, D., Bateni, H. (2003). The performance of the ice hockey slap and wrist shots: The effects of stick construction and player skill. *Sports Engineering*, 6(1), 31–39. doi: 10.1007/BF02844158

REFERENCES

Azraai, N.Z., Awang Soh, A.A.S., Mat Jafri, M.Z. (2017). Power estimation of martial arts movement using 3D motion capture camera. *Proceedings Volume 10335, Digital Optical Technologies*; 103351T. doi: 10.1117/12.2270135

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. doi: 10.1016/S1440-2440(03)80255-4

Bracko, M.R., Fellingham, G.W., Hall, L.T., Fisher, A.G., Cryer, W. (1998). Performance skating characteristics of professional ice hockey forwards. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 8(3), 251–263. doi: 10.1080/15438629809512531

Buns, M. (2020). Impact of virtual reality training on real-world hockey skill: an intervention trial. *Journal of Sports Science*, 8(1). doi: 10.17265/2332-7839/2020.01.002

- Chang, R., Turcotte, R., Pearsall, D. (2009). Hip adductor muscle function in forward skating. *Sports Biomechanics*, 8(3), 212–222. doi: 10.1080/14763140903229534
- Cross, R., Lindsey, C. (2018). The Slap Shot in Ice Hockey. *The Physics Teacher*, 56(1), 7–9. doi: 10.1119/1.5018677
- Cuperus, A.A., van der Ham, I.J.M. (2016). Virtual reality replays of sports performance: Effects on memory, feeling of competence, and performance. *Learning and Motivation*, 56, 48–52. doi: 10.1016/j.lmot.2016.09.005
- Düking, P., Holmberg, H.C., Sperlich, B. (2018). The potential usefulness of virtual reality systems for athletes: a short SWOT analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 128. doi: 10.3389/fphys.2018.00128
- Fait, P.E., McFadyen, B.J., Reed, N., Zabjek, K., Taha, T., Keightley, M. (2011). Increasing task complexity and ice hockey skills of youth athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 112(1), 29–43. doi: 10.2466/05.10.23.25.PMS.112.1.29-43
- Farley, O.R.L., Spencer, K., Baudinet, L. (2019). Virtual reality in sports coaching, skill acquisition and application to surfing: a review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15(3). doi: 10.14198/jhse.2020.153.06
- Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., Kulpa, R. (2020). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 192–205. doi: 10.1080/02640414.2019.1689807
- Fortier, A., Turcotte, R.A., Pearsall, D.J. (2014). Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 13(4), 341–350. doi: 10.1080/14763141.2014.981852
- Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. *Frontiers in Psychology*, 8, 2183. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02183
- Harris, D.J., Buckingham, G., Wilson, M.R., Brookes, J., Mushtaq, F., Mon-Williams, M., Vine, S.J. (2020). The effect of a virtual reality environment on gaze behaviour and motor skill learning. *Psychology of Sport and Exercise*, 50, 101721. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101721
- Ingram, H.A., van Donkelaar, P., Cole, J., Vercher, J.L., Gauthier, G.M., Miall, R.C. (2000). The role of proprioception and attention in a visuomotor adaptation task. *Experimental Brain Research*, 132(1), 114–126. doi: 10.1007/s002219900322
- Isaev, A.V., Korshunov, A.V., Leonov, S.V., Sanoyan, T.R., Veraksa, A.N. (2016). Quantitative and qualitative indicators of developing anticipation skills in junior wrestling athletes. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 233, 186–191. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.10.191
- Isogawa, M., Mikami, D., Fukuda, T., Saijo, N., Takahashi, K., Kimata, H., Kashino, M. (2018). What can VR systems tell sports players? reaction-based analysis of baseball batters in virtual and real worlds. 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (pp. 587–588). doi: 10.1109/VR.2018.8446073
- Katz, L., Parker, J., Tyreman, H., Kopp, G., Levy, R., Chang, E. (2006). Virtual reality in sport and wellness: Promise and reality. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4(1), 4–16.
- Lafontaine, D. (2007). Three-dimensional kinematics of the knee and ankle joints for three consecutive push-offs during ice hockey skating starts. *Sports Biomechanics*, 6(3), 391–406. doi: 10.1080/14763140701491427

Lammfromm, R., Gopher, D. (2011). Transfer of skill from a virtual reality trainer to real juggling. *BIO Web of Conferences*, 1, 00054. doi: 10.1051/bioconf/20110100054

Lashkul, A., Fedorova, M. (2020). Methodological features of teaching the technique of motor actions of young hockey goalkeepers at the initial stage of training. *Optimizatsiya uchebno-vospitatel'nogo i trenirovochnogo protsessa v uchebnykh organizatsiyakh vysshego obrazovaniya. Zdorovyy obraz zhizni kak faktor profilaktiki narkomanii. Materialy Vserossiyskoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii* [Optimization of the educational and training process in educational institutions of higher education. Healthy lifestyle as a factor of drug addiction prevention. Materials Of The All-Russian Scientific And Practical Conference]. Responsible Editor E.V. Panov, Krasnoyarsk, (pp. 161–166). (in Russ.) doi: 10.51980/2020_28_161

Le Noury, P., Buszard, T., Reid, M., Farrow, D. (2021). Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, 39(4), 412–420. doi: 10.1080/02640414.2020.1823618

Leonov, S., Polikanova, I., Kruchinina, A., Bugriy, G., Bulaeva, N., Sukhachev, P. (2020). Comparison of postural balance in professional hockey players and beginners. *Materials of the International Forum Cognitive Neuroscience, Yekaterinburg.* (in Russ.)

Leonov, S.V., Polikanova, I.S., Bulaeva, N.I., Klimenko, V.A. (2020). Using virtual reality in sports practice. *Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal (National Psychological Journal)*, (13)1, 18–30. doi: 10.11621/npj.2020.0102 (in Russ.)

Mann, D.T.Y., Williams, A.M., Ward, P., Janelle, C.M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457–478. doi: 10.1123/jsep.29.4.457

Marino, G.W. (1977). Kinematics of ice skating at different velocities. research quarterly. *American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(1), 93–97. doi: 10.1080/10671315.1977.10762155

Michalski, S.C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T.J., Billinghamurst, M., Loetscher, T. (2019). Getting your game on: using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLOS ONE*, 14(9), e0222351. doi: 10.1371/journal.pone.0222351

Montgomery, D.L. (1988). Physiology of ice hockey: *Sports Medicine*, 5(2), 99–126. doi: 10.2165/00007256-198805020-00003

Mori, S., Ohtani, Y., Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21(2), 213–230. doi: 10.1016/S0167-9457(02)00103-3

Morris-Binelli, K., Müller, S., van Rens, F.E.C.A., Harbaugh, A.G., Rosalie, S.M. (2021). Individual differences in performance and learning of visual anticipation in expert field hockey goalkeepers. *Psychology of Sport and Exercise*, 52, 101829. doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101829

Pearsall, D., Montgomery, D., Rothsching, N., Turcotte, R. (1999). The influence of stick stiffness on the performance of ice hockey slap shots. *Sports Engineering*, 2(1), 3–11. doi: 10.1046/j.1460-2687.1999.00018.x

Polikanova, I.S., Leonov, S.V., Sukhochev, P.Yu., Bugriy, G.S., Kruchinina, A.P. (2020). Using virtual reality technologies to train hockey players of different skill levels. *Materials of the IV Russian Scientific and Practical Conference with international participation in sports science: Preparation of the sports reserve. GUKU "TSTiSK" Moskomspor* (Eds), (pp. 349–356), Moscow. (in Russ.)

Polikanova, I., Yakushina, A., Leonov, S., Kruchinina, A., Chertopolokhov, V., Liutsko, L. (2021). Study of differences in motor reactions and performances in professional ice hockey players and not experienced participants using virtual reality (VR) technology [Preprint]. *Behavioral sciences*. doi: 10.20944/preprints202103.0776.v1

Poolton, J.M., Masters, R.S.W., Maxwell, J.P. (2006). The influence of analogy learning on decision-making in table tennis: Evidence from behavioral data. *Psychology of Sport and Exercise*, 7, 677–688.

Shell, J.R., Robbins, S.M.K., Dixon, P.C., Renaud, P.J., Turcotte, R.A., Wu, T., Pearsall, D.J. (2017). Skating start propulsion: three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 16(3), 313–324. doi: 10.1080/14763141.2017.1306095

Shim, J., Carlton, L.G., Kwon, Y.H. (2006). Perception of kinematic characteristics of tennis strokes for anticipating stroke type and direction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77(3), 326–339. doi: 10.1080/02701367.2006.10599367

Song, P., Xu, S., Fong, W.T., Chin, C.L., Chua, G.G., Huang, Z. (2012). An immersive VR system for sports education. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E95.D(5), 1324–1331. doi: 10.1587/transinf.E95.D.1324

Strughold, H. (1956) A simple classification of the present and future stages of manned flight. *Journal of Aviation Medicine*, XXVII, 328–331.

Tirp, J., Steingröver, C., Wattie, N., Baker, J., Schorer, J. (2015). Virtual realities as optimal learning environments in sport — A transfer study of virtual and real dart throwing. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 57(1), 57–69.

Todorov, E., Shadmehr, R., Bizzi, E. (1997). Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of Motor Behavior*, 29(2), 147–158. doi: 10.1080/00222899709600829

Tous Ral, J.M., Liutsko, L. (2014). Human errors: their psychophysical bases and the proprioceptive diagnosis of temperament and character (DP-TC) as a tool for measuring. *Psychology in Russia: State of the Art*, 7(2), 48–63. doi: 10.11621/pir.2014.0205

Tsai, W.L., Su, L., Ko, T.Y., Yang, C.T., Hu, M.C. (2019). Improve the decision-making skill of basketball players by an action-aware VR training system. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (pp.1193–1194). doi: 10.1109/VR.2019.8798309

Tyler, T.F., Nicholas, S.J., Campbell, R.J., McHugh, M.P. (2001). the association of hip strength and flexibility with the incidence of adductor muscle strains in professional ice hockey players. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(2), 124–128. doi: 10.1177/03635465010290020301

Tyremen, H., Parker, J.R., Katz, L. (2008). Ice hockey goaltenders' strategies, reaction times and anticipation times in two- and three-dimensional virtual environments. 7.IACSS Preolympic Congress on Computer Science in Sport, Nanjing, China.

Upjohn, T., Turcotte, R., Pearsall, D.J., Loh, J. (2008). Three-dimensional kinematics of the lower limbs during forward ice hockey skating. *Sports Biomechanics*, 7(2), 206–221. doi: 10.1080/14763140701841621

Veraksa, A.N., Gorovaya, A.E., Leonov, S.V., Pashenko, A.K., Fedorov, V.V. (2012). The possibility of using sign and symbolic tools in the development of motor skills by beginning soccer players. *Psychology in Russia: State of the art*, 5, 473–497.

Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, 39, 12–26. doi: 10.1016/j.humov.2014.10.006

Walsh, M., Slattery, E., McMath, A., Cox, R., Haworth, J. (2018). Training history constrains postural sway dynamics: A study of balance in collegiate ice hockey players. *Gait & Posture*, 66, 278–282. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.09.009

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. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ccb1a1

Wood, G., Wright, D.J., Harris, D. et al. (2021) Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25, 43–51, doi: 10.1007/s10055-020-00441-x

Wu, T.C., Pearsall, D., Hodges, A., Turcotte, R., Lefebvre, R., Montgomery, D., Bateni, H. (2003). The performance of the ice hockey slap and wrist shots: The effects of stick construction and player skill. *Sports Engineering*, 6(1), 31–39. doi: 10.1007/BF02844158

Поступила в редакцию 30.12.2021

Принята к публикации 04.02.2022

Отредактирована 02.03.2022

Received 30.12.2021

Accepted 04.02.2022

Revised 02.03.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Поликанова Ирина Сергеевна — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Психология профессий и конфликта» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, научный сотрудник лаборатории молекулярной физиологии факультета биологии и биотехнологии НИУ «Высшая Школа Экономики»
irina.polikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Леонов Сергей Владимирович — кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
svleonov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

Якушина Анастасия Александровна — аспирант, сотрудник кафедры психологии образования и педагогики факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
anastasia.ya.au@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4968-336X>

Бугрий Григорий Степанович — младший научный сотрудник лаборатории по математическому обеспечению имитационных динамических систем кафедры прикладной механики и управления отделения механики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
gregbugr@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

Кручинина Анна Павловна — ассистент кафедры прикладной механики и управления отделения механики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

anna.kruchinina@math.msu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

Чертополохов Виктор Александрович — научный сотрудник кафедры прикладной механики и управления отделения механики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

psvr.msu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5945-6000>

Люцко Людмила Николаевна — сотрудник кафедры психологии образования и педагогики факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

liudmila_liutsko@yahoo.es, <http://orcid.org/0000-0002-2569-0760>

ABOUT AUTHORS

Irina S. Polikanova — PhD in psychology, Senior Researcher of the Laboratory «Psychology of Professions and Conflicts» of the Faculty of Psychology at Lomonosov Moscow State University, Researcher of the Laboratory of Molecular Physiology of the Faculty of Biology and Biotechnology at the Higher School of Economics, Moscow, Russia
irinapolikanova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Sergey V. Leonov — PhD in psychology, associate professor, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
svleonov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

Anastasia A. Yakushina — PhD student, fellow worker, Department of psychology of education and pedagogy, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

anastasia.ya.au@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4968-336X>

Grigory S. Bugriy — Junior Researcher, Laboratory for Mathematical Support of Simulation Dynamics Systems, Department of Applied Mechanics and Control, Mechanics and Mathematics Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

gregbugr@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

Anna P. Kruchinina — Assistant Professor at the Department of Applied Mechanics and Control, Department of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

anna.kruchinina@math.msu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

Victor A. Chertopolokhov — Researcher at the Department of Applied Mechanics and Control, Department of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

psvr.msu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5945-6000>

Lyudmila N. Lyutsko — employee of the Department of Educational Psychology and Pedagogy, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

liudmila_liutsko@yahoo.es, <http://orcid.org/0000-0002-2569-0760>