

Научная статья

УДК 159.946.2
doi: 10.11621/npj.2022.0207

Основные характеристики постурального баланса стойки профессиональных хоккеистов и новичков

С.В. Леонов¹, А.П. Кручинина², Г.С. Бугрий³,
Н.И. Булаева⁴, И.С. Поликанова^{*5, 6}

^{1, 2, 3, 4, 5} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

¹ svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

² a.kruch@moids.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

³ gregbugr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

⁴ natali.psy99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4904-3031>

⁶ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия,
irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

* Автор, ответственный за переписку: irinapolikanova@mail.ru

Актуальность. Стойка (или посадка) является основополагающей позой хоккеиста, позволяющей ему выполнять различные движения во время тренировочного и игрового процесса. Вместе с тем, исследований, посвященных изучению постурального баланса хоккеистов достаточно мало.

Цель. Основной целью исследования было изучение особенностей постурального баланса хоккеистов во время выполнения ими задания по поддержанию основной стойки в сравнении с новичками.

Выборка. В исследовании приняли участие 22 испытуемых мужского пола (средний возраст — 20±2,3 года), в том числе 13 хоккеистов и 9 испытуемых, которые были новичками в хоккее (преимущественно борцы вольного стиля). Профессиональный уровень оценивался по количеству лет стажа и по наличию разрядов. Средний стаж составил 14,18±3,8 лет. Разряды варьировали от 3 юношеского до КМС.

Методы. В рамках проведенной работы был апробирован метод отслеживания позы хоккеиста с использованием систем DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0, результаты которого позволили сравнить статические характеристики стойки у профессиональных хоккеистов и новичков на основе анализа изменения углов в коленном и тазобедренном суставах, а также изменения положения головы, во время выполнения задания по поддержанию стойки в течение 5 минут (Леонов, Поликанова, Кручинина и др., 2021).

Результаты. Анализ движений с использованием системы DTrack2 и системы SteamVR Tracking 2.0 показал идентичные результаты, что позволило в дальнейшем использовать систему SteamVR Tracking 2.0. По результатам анализа данных позиционного отслеживания было показано, что профессиональные хоккеисты при сохранении стойки характеризуются большей амплитудой колебаний (1–2 град.), чем новички (не более 1 град.). Профессиональные хоккеисты также отличаются значимо меньшей амплитудой колебания положения головы во время выполнения заданий. Качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов показал, что у профессиональных хоккеистов, в отличие от новичков, наблюдается более высокая и стабильная амплитуда колебаний показателей движений в ходе всего исследования, что в свою очередь позволяет оптимизировать энергозатратность и обеспечивать лучшую стабилизацию позы.

Выводы. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о важности корректного позиционирования головы для стабилизации постурального баланса хоккеиста. Для поддержания позы наиболее оптимальной является тазобедренная стратегия поддержания постурального баланса, связанная с большей амплитудой колебаний тазобедренных суставов.

Ключевые слова: хоккей, виртуальная реальность, VR, поза, стойка хоккеиста, постуральный баланс, анализ движений, позиционное отслеживание.

Информация о финансировании. Исследование проводится при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-78-10134.

Для цитирования: Леонов С.В., Кручинина А.П., Бугрий Г.С., Булаева Н.И., Поликанова И.С. Основные характеристики постурального баланса стойки профессиональных хоккеистов и новичков // Национальный психологический журнал. 2022. № 2 (46). С. 65–79. doi: 10.11621/npj.2022.0207

Basic characteristics of postural balance of professional hockey players and novices

Sergey V. Leonov¹, Anna P. Kruchinina², Grigoriy S. Bugrii³,
Natalia I. Bulaeva⁴, Irina S. Polikanova^{*5, 6}

^{1, 2, 3, 4, 5} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

²a.kruch@moids.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

³gregbugr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

⁴natali.psy99@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4904-3031>

⁶National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,
irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

* Corresponding author: irinapolikanova@mail.ru

Background. Stance (or posture) is the fundamental posture of a hockey player, allowing him to perform various movements during training and playing processes. However, studies of postural balance of hockey players are scarce.

Objective. The main aim of the study was to track a hockey player's posture as well as to compare static postural characteristics of professional hockey players and novices.

Sample. The study involved 22 male subjects (mean age 20 ± 2.3 years), including 13 hockey players and 9 subjects who were new to hockey (mainly freestyle wrestlers). The professional level was assessed by the number of years of experience and by the presence of sports ranks. The average experience was 14.18 ± 3.8 years. The sports ranks ranged from third junior category to Candidate Master.

Method. A method for tracking the posture of a hockey player using the DTrack2 and SteamVR Tracking 2.0 systems was tested. The obtained results made it possible to compare the static characteristics of the stance in professional hockey players and novices based on the analysis of changes in the knee and hip joint angles, as well as changes in the position of the head during performing the task of maintaining the stand for 5 minutes (Leonov, Polikanova, Kruchinina et al., 2021).

Results. Analysis of movements with the DTrack2 system and the SteamVR Tracking 2.0 system showed identical results, allowing further use of the SteamVR Tracking 2.0 system. Analysis of the positional tracking data showed that professional hockey players were characterized by a greater amplitude of oscillation (1–2 degrees) than novices (no more than 1 degree) when maintaining their stance. Professional hockey players are also characterized by a significantly smaller amplitude of oscillation of the head position during performance of tasks. Qualitative analysis of changes in angles of knee and hip joints showed that professional hockey players, in contrast to beginners, have a higher and more stable amplitude of movement parameters fluctuations during the whole study, which in turn allows to optimize energy expenditure and provide better posture stabilization.

Conclusion. Thus, the results of the study indicate the importance of correct head positioning in stabilizing the postural balance of a hockey player. For posture maintenance, the hip strategy of postural balance maintenance, associated with a greater amplitude of hip joint oscillation, is the most optimal.

Keywords: hockey, virtual reality, VR, posture, hockey stance, postural balance, motion analysis, positional tracking.

Funding. Research supported by the support of the Russian Science Foundation, project № 19-78-10134.

For citation: 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 [Natsional'nyy psikhologicheskiiy zhurnal], 2 (46), 65–79. doi: 10.11621/npj.2022.0207

Введение

Исследованиям профессиональных движений хоккейных игроков посвящено немало работ. Обычно объектом исследования становятся движения игрока на льду, анализируются скорости и ускорения сегментов его конечностей во время перемещения на коньках. Тем не менее, и исследователи, и хоккейные тренеры отмечают, что ключевым аспектом для игрока является стойка (или посадка) хоккеиста (Alpini et al., 2008; Majcen Rosker et al., 2021; Walsh et al., 2018; Behan, 2020; Wilberg, 1979). При описании базовой стойки используют величину углов в трех суставах: тазобедренном, коленном и голеностопном. При анализе угловых значений стойки хоккеиста авторы могут использовать разные параметры и методы анализа (Lafontaine, 2007; Marino, 1977; Shell et al., 2017; Urjohn et al., 2008; Blanár et al., 2020; McCaw et al., 1987). Как правило, при описании биомеханики катания хоккеиста, приводятся значения углов в суставах во время основных фаз катания: от 45 до 180 градусов в тазобедренном суставе, от 90 до 180 градусов — в коленном. Перемещение центра масс при этом описывается только как происходящее в горизонтальной плоскости (Voileau & Horswill, 2000; Čech, 2015).

С помощью кинематического анализа изменений углов в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах изучались навыки катания хоккеистов в работах Марино и Маккоу (Marino, 1977; McCaw et al., 1987). Исследование Шелла и коллег показало, что изменения кинематики углов тазобедренного и коленного суставов существенно влияют на скорость хоккеистов (Shell et al., 2017). Исследование Алджон и коллег также выявило поструральные различия в углах колена и бедра у хоккеистов в зависимости от уровня мастерства (Urpjohn et al., 2008). Авторы отметили, что более опытные хоккеисты имеют большие амплитуды отклонения бедра и колена во время катания по сравнению с менее опытными. В работах М. Бланара и коллег показано, что чем лучше у спортсмена развиты скоростно-силовые факторы и навыки равновесия, тем успешнее он выполняет двигательные задачи в хоккее (Blanár et al., 2020). Исследование Д. Лафонтена показало прямую связь между величиной изменения углов коленных суставов и скоростью спортсмена при выполнении маневра (Lafontaine, 2007).

В описании базовой стойки хоккейного вратаря говорится о значении углов в тазобедренном и коленном суставах, близких к 90 градусам. Отмечается, что желательным является большее сгибание в коленях и бедрах, для обеспечения более быстрого движения и большей силы для отталкивания. На примере хорошей низкой базовой стойки профессионального вратаря приводятся значения углов: в тазобедренном суставе (относительно плоскости льда) — около 30–35° в коленном — около 80° (Wörner et al., 2021; Bracko, 2004; Tramer et al., 2015; Whiteside et al., 2015; Tuppurainen, 2021).

При сравнении хоккеистов по скорости бега на льду среди прочих параметров отмечается разница углов

в тазобедренном и коленном суставах у «быстрых» и «медленных» игроков. Среднее значение угла в тазобедренном суставе составляло 57 и 65,33°, а в коленном — 106,11 и 123,6° у «быстрых» и «медленных» игроков соответственно (Bracko, 2004).

Мастерство хоккеиста определяется также и способностью предвидеть действия других игроков и траектории перемещения шайбы, быстро переключаться между задачами и быть устойчивым к возрастающим раздражителям (Fait et al., 2011; Fortier et al., 2014; Morris-Binelli et al., 2021). Многие исследования подтверждают, что спортсмены высокого 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; Matthew Buns, 2020). Например, в исследовании М. Брако было обнаружено, что навыки динамического ускорения профессиональных хоккеистов во время игры на коньках значительно отличаются от динамического ускорения новичков (Bracko et al., 1998). В то же время скорость катания новичков и профессионалов на старте не отличается. Таким образом, можно предположить, что не только скорость катания, но и показатели стабильности и восприимчивости к игровым движениям, могут рассматриваться специально для различения уровня мастерства хоккеистов.

Таким образом, мы видим, что стойка хоккеиста значимо влияет на скорость и эффективность спортивной деятельности, что требует специальных методов ее изучения. Для этих целей в рамках настоящего исследования была разработана специальная виртуальная среда, адаптированная для систем виртуальной реальности экранного типа CAVE-system (Cave active virtual environment) и для носимой системы виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye, а также использовалась методика, позволяющая исследовать позные характеристики у профессиональных хоккеистов и новичков. В настоящем исследовании изучаются именно изменения углов в суставах, так как предполагается, что характер разбросов значений углов является маркерным показателем стойки, отличающимся у спортсменов разного уровня.

Определение базовой стойки хоккеиста. Значение базовой стойки хоккеиста во время игры. Стойка, или посадка, является основополагающей позой хоккеиста, необходимой ему во время игры и для отработки профессионально важных двигательных навыков. Посадка хоккеиста — это специфическое положение тела, требующее определенного процесса обучения для формирования и закрепления двигательного навыка по принятию и сохранению данной позы (Леонов и др., 2021; Леонов и др., 2020).

Начальное обучение технике владения коньками и отработка любых навыков в хоккее всегда начинается с освоения основной стойки хоккеиста. Во время игры базовая стойка хоккеиста обеспечивает свободное проявление рабочих усилий в отталкивающих движениях ногами, нормальную работу мышц ног, не

стесняет работу органов дыхательной и сердечно-сосудистой систем, позволяет хорошо видеть и ориентироваться в окружающей обстановке (Букатин, 1985; Савин, 2003; Мельников, 2013).

Посадка (базовая стойка) хоккеиста во многом зависит от его анатомо-морфологических особенностей (роста, длины отдельных частей тела). Однако существуют усредненные, биомеханически обоснованные характеристики посадки хоккеиста: живот втянут, голова поднята, туловище наклонено вперед, ноги согнуты под углом 100–120 градусов, голеностопные и тазобедренные суставы под углом 70 градусов и располагаются примерно на ширине плеч. Плечи немного выдвинуты вперед и опережают проекцию колен. Проекция колен опережает проекцию стопы. Руки хоккеиста согнуты в локтевых суставах (Савин, 2003).

Выделяют три типа стойки: высокую, среднюю и низкую, отличающихся положением общего центра тяжести и величинами углов в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах. Возможны также индивидуальные вариации стойки, зависящие от морфо-анатомических особенностей игроков. В процессе тренировок и с накоплением игрового опыта хоккеисты находят оптимальную для себя стойку.

М. Роскер с коллегами (Majcen Rosker et al., 2021) говорит о важной роли шеи и шейного отдела позвоночника в поддержании стойки и постурального баланса в хоккее, а также в поддержании окуломоторного контроля. В хоккее игроки должны контролировать шайбу, не теряя визуального контроля за ситуацией на игровой площадке, что требует принятия определенной позы, которая включает в себя сгибание в грудном отделе позвоночника наряду с разгибанием плеч и вытягиванием верхнего шейного отдела позвоночника (Yard, Comstock, 2013). Это, в частности, достигается благодаря неврологическим, биомеханическим и функциональным связям шейного отдела с вестибулярной, зрительной системами.

Сохранение стойки, или так называемого постурального баланса, является сложным процессом, включающим в себя интегрированную совокупность биомеханических, нейрофизиологических и нейropsychических явлений, которые влияют друг на друга и взаимно компенсируются в каждый момент времени (Грибанов, Шерстенникова, 2013).

Поза человека не является статичной, особенно при прямостоянии. Исследованию вертикальной позы человека и влиянию на нее различных как внешних, так и внутренних дестабилизирующих возмущений посвящено большое количество работ (Кубряк, 2017; Денискина, 2009; Грибанов, Шерстенникова, 2013; Гроховский, Кубряк, 2018; Винарская, Фирсов, 2018). Сохранение базовой стойки в начале обучения представляет определенные трудности, поскольку движения на коньках выполняются при большом мышечном напряжении, что приводит к утомлению мышц и появлению стремления поднять туловище, выпрямиться (Букатин, 1985).

Вследствие недостаточно развитых мышц спины, живота и отсутствия устойчивого равновесия начинающие хоккеисты не могут во время катания сохра-

нять правильную позу и принимают положение тела, удобное для них на данный момент (Букатин, 1985).

При обучении технике катания на коньках, помимо прочих технических ошибок, отмечаются следующие ошибки сохранения базовой стойки хоккеиста: поднимание центра тяжести за счет распрямления ног и движение на прямых ногах, нестабильность угла наклона туловища и увеличение наклона туловища вперед за счет сгибания в тазобедренном суставе, опускания головы (Букатин, 1985; Савин, 2003).

В ходе тренировок, по укреплению мышц и отработке двигательной навывки сохранения базовой стойки, начинающим хоккеистам становится легче держать правильную позу, необходимую для овладения техникой катания на коньках. Таким образом, анализ изменений базовой стойки в ходе выполнения той или иной двигательной задачи может оказаться информативным при сравнении опытных хоккеистов и новичков.

Методы отслеживания движений тела. Математическая модель регуляции позы в применении базовой стойки хоккеиста. Вопрос отслеживания движений человека, в частности его рук и пальцев, а также головы и других частей тела, является одной из наиболее актуальных задач разработок в виртуальной и дополненной реальности. Данная технология сочетает в себе аппаратные средства и программное обеспечение, позволяющие определять абсолютное положение и ориентацию объекта в пространстве, благодаря чему становится возможным измерять и передавать все 6 степеней свободы (6DoF) реального мира (Babic et al., 2018; Maereg et al., 2017; Schlattmann et al., 2007). Очень важно отметить, что технологии трекинга служат не только для определения положения и ориентации тела человека в пространстве, что, безусловно, является самой очевидной и распространенной сферой применения, но и для определения движений глаз.

Предлагаемые решения направлены на повышение точности отслеживания движений тела на широкой территории без помех и проблем с окклюзией, что может быть достигнуто наилучшим совмещением используемых устройств и применяемых методов обработки их показаний. Наиболее распространенными устройствами в настоящее время можно назвать отслеживаемые контроллеры, которые дают базовое представление производимых движений тела в VR (Pandey et al., 2018), но для них затруднительно отслеживание действий малых объектов, что важно для корректного отображения предмета и лучшего погружения в виртуальную среду. Помимо классических джойстиков, существует множество различных вариантов шлемов и очков VR (Kruchinina et al., 2019), а также систем захвата движения (Kruchinina et al., 2019) и прототипов перчаток с трекингом (Temoche et al., 2012; Lin et al., 2018).

В математической модели, предназначенной для исследования механизмов регуляции позы (Терехов, Левик, 2007), выделяют две составляющие: биомеханическую модель тела человека и модель управле-

Внешний 6-DoF (Outside-in) трекинг
External 6-DoF (Outside-in) tracking



Рис. 1. 6 степеней свободы (6DoF) реального мира

Fig. 1. 6 degrees of freedom (6DoF) in the real world

ния, отражающую собственно механизмы регуляции позы, при этом последняя модель во многом зависит от первой.

Обычно при анализе положения тела анализируются углы между звеньями человеческого тела. В хоккейной стойке основной характеристикой является расположение голени, бедер, тела человека относительно друг друга. Оценивая взаиморасположение данных сегментов, можно наблюдать динамику стойки у игрока в процессе выполнения какой-либо двигательной задачи, например, при катании на коньках или при реагировании на летящие в его направлении шайбы.

Для анализа динамики стойки во время выполнения различных заданий одной из эффективных стратегий представляется использование методов отслеживания движений тела, в частности использование оптических систем видеоанализа.

Чтобы восстановить положение тела в пространстве по данным видеоанализа, или данным другой системы отслеживания движений, необходимо знать как минимум положение двух точек на каждом из отслеживаемых сегментов тела. Современные системы позволяют регистрировать не только положение отслеживаемых маркеров, но и их ориентацию. Изменение ориентации маркера, закрепленного на сегменте тела, совпадает с изменением ориентации и этого сегмента. Таким образом, помимо фиксации значений углов в суставах, для анализа стойки хоккеиста можно использовать данные об ориентации маркеров, используя при этом меньший набор маркеров. Для восстановления углов в таком случае может использоваться калибровочное положение, которое позволит связать начальные значения направляющих векторов отслеживаемых тел с сегментами. Предлагаемый подход не противоречит дополнительному использованию калибровочной позы, но наличие точно определенных значений углов между сегментами тела, то есть углов в суставах, не является базовой информацией необходимой для анализа.

Наша задача, состоит в том, чтобы попробовать применить методы отслеживания позы к стойке хоккеиста.

Для анализа динамики стойки хоккеиста предлагается использовать следующие маркерные показатели: изменения углов в коленных и тазобедренных суставах. Изменения угла в голеностопном суставе, зафиксированном ботинком, претерпевают незначительные изменения вне зависимости от изменения стойки, в связи с чем они были исключены из рассмотрения.

Анализ дополнительных величин, таких, как расстояние между маркерами на бедрах и высота головы над полом позволяют отслеживать наиболее распространенные ошибки, совершаемые начинающими хоккеистами, в том числе сведение коленей; распрямление ног; смещение центра масс вперед.

Описание хода исследования

Реализация исследования проводилась в два этапа: пилотный и основной. В общей сложности в исследовании приняли участие 32 человека (10 на пилотном этапе и 22 — на основном).

На первом этапе была разработана виртуальная среда, адаптированная для систем виртуальной реальности экранного типа CAVE-system (Cave active virtual environment), а также для носимой системы виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye.

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

Кроме того, дополнительной задачей на данном этапе (а также на основном этапе) было выявление на основе позиционного отслеживания пострального баланса испытуемых объективных критериев выделения трех наиболее частых видов ошибок сохранения стойки при введении дополнительной двигательной задачи, которые допускают начинающие игроки:

1. Распрямление. Распрямление ног и поднятие центра тяжести.
2. Сведение коленей. Уменьшение расстояния между коленями.
3. Увеличенный наклон вперед. Увеличение наклона туловища вперед.

Исследование статических характеристик стойки у профессиональных хоккеистов и новичков. Нами было проведено исследование статических характеристик базовой стойки у хоккеистов по сравнению с новичками (людьми, не занимающимися профессионально хоккеем с шайбой).

Основной задачей исследования было сравнение статических характеристик стойки на основе анализа изменения углов в коленном и тазобедренном суставах.

В целях увеличения экологической валидности в исследовании были использованы отдельные элементы реальных условий игры в хоккей на льду: ледовое

покрытие (площадка искусственного льда $1,5 \times 1,5$ м), хоккейные коньки, защитное снаряжение (коленные щитки, шлем, перчатки) и клюшка полевого игрока. Испытуемые надевали снаряжение, коньки, вставляли на площадку искусственного льда и брали в руки клюшку.

На голове у испытуемых был либо шлем полевого игрока (в 1-й части исследования), либо шлем виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye (во 2-й части исследования).

Датчики для отслеживания движений (Vive Tracker 2.0 и ART targets) фиксировались (не жестко, поверх одежды) на плечи, грудь, пояс, бедра и голени испытуемого.

С применением графического ПО Unity3d была создана виртуальная сцена, в состав которой входили модели хоккейной площадки, клюшки и шайбы (для моделирования движения шайбы также были включены такие параметры, как температура льда, материал шайбы и коньков). Данная виртуальная среда разрабатывалась с учетом экспертной оценки профессиональных хоккейных игроков и тренеров. Для описания стойки и оценки ошибок рассматривалось взаиморасположение трекеров правого и левого бедра и положение головы относительно ног.

В анализ были включены данные изменения углов в коленных и тазобедренных суставах (среднеквадратичное отклонение изменения углов в каждом из суставов). Исследование изменения угла в голеностопном суставе не проводилось, во-первых, в силу большой жесткости конька, во-вторых, из-за отсутствия индивидуального подбора коньков для каждого испытуемого, вследствие чего невозможно было обеспечить одинаковую у всех испытуемых фиксацию голеностопного сустава в коньке.

Перед экспериментом испытуемые-новички проходили краткий инструктаж с описанием и демонстрацией основных элементов базовой стойки, с фиксированием испытуемого в базовой стойке экспериментатором. Таким образом, новички получали возможность ориентироваться на логический, зрительный и кинестетический образ эталонной базовой стойки хоккеиста.

Пилотный этап исследования

На первом, пилотном, этапе были задействованы одновременно две системы отслеживания движений — DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0. В обеих системах трекинга регистрировались позиция и поворот отслеживаемых трекеров (запись движений в системе SteamVR Tracking 2.0. проводилась с использованием XR, что позволило также фиксировать позицию и поворот трекеров Vive Tracker 2.0). 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, 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).

Виртуальная среда была адаптирована для системы виртуальной реальности экранного типа CAVE-system (Cave active virtual environment).

На данном этапе в исследовании приняли участие 10 испытуемых мужского пола — 4 профессиональных хоккеиста и 6 новичков.

Эксперимент состоял из двух частей (рис. 2):

А) принятие базовой стойки хоккеиста по инструкции экспериментатора (объяснение и демонстрация стойки) и нахождение в ней в течение пяти минут.

Основной задачей первой части было сравнение изменения позы (изменений углов в коленном и тазобедренном суставах) во время выполнения задачи сохранения базовой стойки профессиональными хоккеистами и новичками.

Б) имитация бега (скольжения) по льду с сохранением положения тела в основной стойке хоккеиста.

Имитация бега на льду в данном эксперименте выступала в качестве задачи-дистрактора, отвлекающей произвольное внимание испытуемого от контроля над выполнением основной задачи по сохранению позы.

Задачей второй части исследования было выделение с помощью экспертной оценки характерных ошибок сохранения базовой стойки. Для проведения экспертной оценки были привлечены профессиональные хоккеисты и тренеры хоккейных команд, которые наблюдали за испытуемым во время эксперимента.

Дополнительной задачей исследования на пилотном этапе было сравнение маркерных величин, получаемых обеими системами и, в связи с этим, определение возможности использования только одной

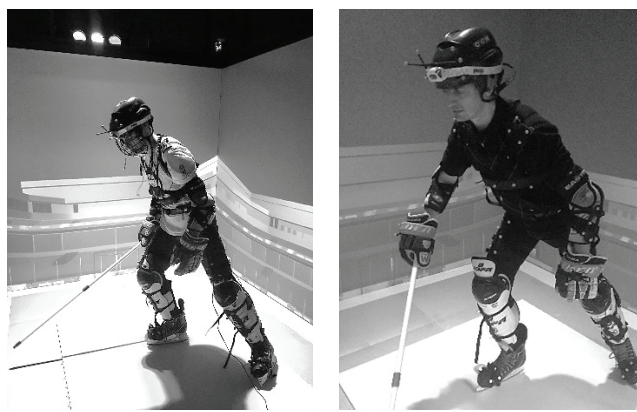


Рис. 2. Использование системы DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0 на профессиональном хоккеисте (слева) и новичке (справа) на этапе пилотного исследования

Fig. 2. Using the D Track 2 system and SteamVR Tracking 2.0 on a professional hockey player (left) and a novice (right) in the pilot study phase

системы SteamVR Tracking 2.0, как более доступной и мобильной.

Задачей испытуемых в ходе всего эксперимента было сохранение заданной позы (базовой стойки).

Результаты пилотного этапа исследования. 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 большого опыта игры в хоккее. Опытные хоккеисты имели характерные изменения углов в суставах: 1–3°. Новички же характеризовались колебаниями с амплитудой, не превосходящей 1° (табл. 1).

Таблица 1. Среднеквадратичная характеристика изменений углов в суставах (град.)

Испытуемые	Сустав			
	бедро правое	бедро левое	колени правое	колени левое
Хоккеисты	2,4	2,3	1,5	1
Новички	0,7	0,7	0,4	0,3

Table 1. Root-mean-square characteristic of changes in angles in joints (in degrees)

subjects	Join			
	right hip	left hip	right knee	left knee
hockey players	2.4	2.3	1.5	1
novices	0.7	0.7	0.4	0.3

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.

Обсуждение полученных результатов пилотного этапа. Полученные на пилотном этапе результаты могут быть обусловлены 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). Кроме того, полученные данные согласуются с данными М. Уолша с коллегами, которые показали, что при поддержании стойки показатели пострального качания у хоккеистов значимо отличались от игроков в футбол и просто активных студентов, как в сагитальном, так и во фронтальных направлениях (Walsh et al., 2018). Авторы заключают, что тренировка равновесия и пострального баланса должна учитывать особенности конкретного вида спорта.

В работе К.Е. Рябиной и А.П. Исаева описываются основные модели биомеханики поддержания вертикальной позы (Рябина, Исаев, 2015). Авторы пишут,

что механизмы поддержания вертикальной позы занимают промежуточное место между двигательными локомоциями (ходьба, бег) и произвольными движениями. Устойчивость тела на фронтальном (влево — вправо) и сагитальном (вперед — назад) направлениях зависит от состояния нервно-мышечного аппарата мышц, сенсорной, зрительной, проприорецептивных систем. Основной моделью анализа движений в сагитальной плоскости является модель перевернутого маятника. Устойчивость в вертикали достигается за счет работы мышц, возвращающих его в состояние равновесия. При минимальных колебаниях считается, что человек использует «голеностопную» стратегию за счет изменения угла в голеностопном суставе, а при больших и частых колебаниях — «тазобедренную», в которой устойчивость достигается за счет тазобедренных суставов. В норме у здоровых людей «голеностопная» стратегия. На основе полученных нами данных видно, что хоккеисты характеризуются ярко выраженной «тазобедренной» стратегией поддержания пострального баланса.

По результатам нашего исследования новички, у которых двигательный навык еще не сформирован, пытаются удержать позу за счет напряжения всего тела, сопровождая балансировку лишними, замедленными и скованными движениями. Это объясняется, во-первых, тем, что на первых этапах освоения двигательного навыка возбуждение двигательных центров в коре головного мозга распространяется и на соседние области, что приводит к генерализации двигательных реакций и вовлечению в работу многих мышц. Работа мышц, не участвующих в правильном выполнении двигательного навыка, в том числе мышц-антагонистов, вызывает скованность, препятствуя свободному выполнению движений. Во-вторых, при выполнении задач по удержанию базовой стойки новички вынуждены концентрировать свое внимание на отдельных элементах действия, произвольно контролируя их выполнение и постоянно сверяясь с эталоном (представленным в виде зрительного, логического и/или кинестетического образа действия). В-третьих, отсутствие достаточной тренированности мышц нижней части тела у новичков приводит к меньшей стабильности положения тела и трудностям в поддержании пострального баланса, а также увеличению напряжения в мышцах тела (Мельников, 2013).

Основной этап исследования

В основном этапе исследования приняли участие 22 испытуемых мужского пола (средний возраст — 20 ± 2,3 года), в том числе 13 хоккеистов и 9 испытуемых, которые были новичками в хоккее (преимущественно борцы вольного стиля). Профессиональный уровень оценивался по количеству лет стажа и по наличию разрядов. Средний возраст стажа составил 14,18 ± 3,8 лет. Разряды варьировали от 3 юношеского до КМС.

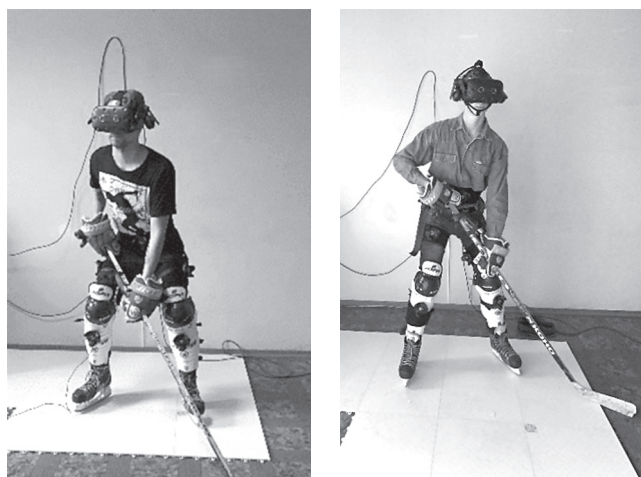


Рис. 3. Использование системы SteamVR Tracking 2.0 на профессиональном хоккеисте (слева) и новичке (справа) на этапе основного исследования

Fig. 3. Using the SteamVR Tracking 2.0 system on a professional hockey player (left) and a novice (right) in the main study phase of study

На данном этапе использовалась только одна система отслеживания движений — SteamVR Tracking 2.0 (рис. 3).

Виртуальная среда, имитирующая реалистичную хоккейную площадку в ледовом дворце, была адаптирована для системы виртуальной реальности HTC Vive Pro Eye. В виртуальной среде, предъявляемой с помощью шлема HTC Vive Pro Eye, испытуемый находился на позиции вратаря (движения испытуемого отображались в движениях аватара в виртуальной среде). В сторону ворот, перед которыми располагался испытуемый, с определенной периодичностью летели виртуальные шайбы. Испытуемым ставилась задача отразить летящие шайбы с помощью клюшки. Перемещения реальной клюшки в руках испытуемого отслеживались с помощью трекера Vive Tracker 2.0 и отображались в перемещениях виртуальной клюшки в виртуальной среде (положение виртуальной клюшки в виртуальной среде совпадало с положением реальной клюшки).

Задачей основного этапа исследования базовой стойки хоккеиста была оценка стабильности стойки у профессиональных хоккеистов и новичков во время выполнения задачи по отражению шайб, требующей быстрой зрительно-моторной координации. Оценка стабильности позы проводилась на основе анализа изменений углов в тазобедренном и коленном суставах. Изменения угла в голеностопном суставе, зафиксированном ботинком, претерпевают незначительные изменения вне зависимости от изменения стойки, в связи с чем они были исключены из рассмотрения.

На основном этапе исследования была сделана попытка на основе результатов позиционного отслеживания пострального баланса испытуемых выявить объективные критерии выделения трех наиболее частых вида ошибок сохранения стойки при введении дополнительной двигательной задачи, которые допускают начинающие игроки: распрямления, сведения коленей и увеличения наклона вперед. Данные типы ошибок можно параметризовать, используя ограниченный набор данных трекинга.

Первый тип ошибочной стойки хорошо прослеживается по показаниям положения головы. В общем случае, координата, связанная с высотой, начинает явно увеличиваться, среднееквадратичное отклонение приращений углов в суставах значимо возрастает.

Второй тип имеет проявление в параметре расстояния между бедрами. Когда человек сводит колени вместе, данный параметр значительно уменьшается.

Третий тип проявляется значительным увеличением среднееквадратичных отклонений приращений углов в суставах, при сохранении позиции головы, или ее незначительном изменении.

Испытуемым на данном этапе исследования также ставилась задача сохранять заданную базовую стойку хоккеиста на протяжении всего эксперимента.

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.

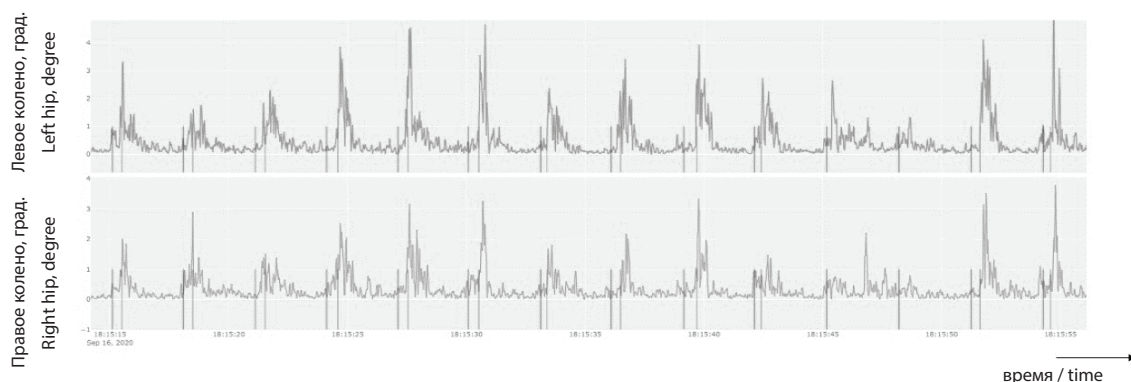


Рис. 4. Изменение углов в тазобедренных суставах у профессионального хоккеиста (19 лет стажа)

Fig. 4. Change of angles in hip joints of a professional hockey player (19 years of experience)

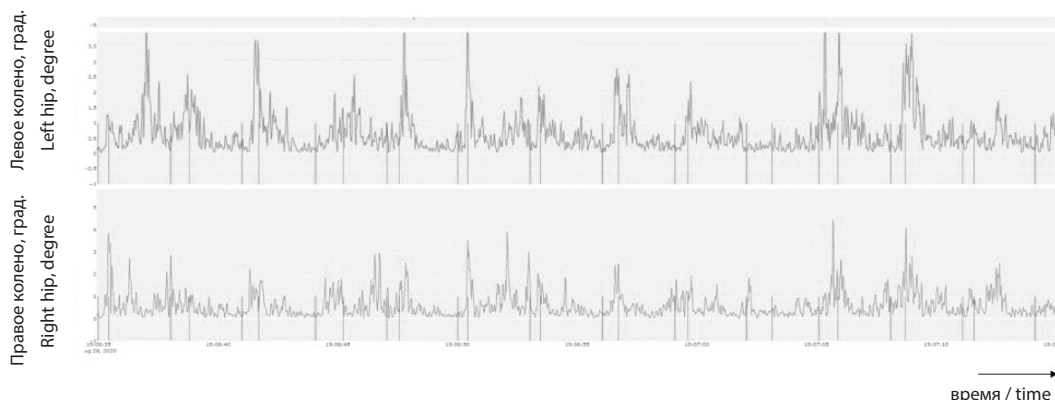


Рис. 5. Изменение углов в тазобедренных суставах у новичка

Fig. 5. Change of angles in hip joints in a novice

Также проводился визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов (правых и левых), а также головы.

Результаты основного этапа исследования

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 синхронными и симметричными изменениями углов в коленных и тазобедренных суставах (рис. 4). У новичков такая стабильность и симметричность отсутствует (рис. 5).

Статистическое сравнение показателей двигательной активности у группы хоккеистов и группы новичков. Статистический анализ показал, что профессиональные хоккеисты отличаются значимо меньшей амплитудой колебания головы во время выполнения заданий (0.66 vs 1.26 , $p \leq 0.05$).

Обсуждение результатов основного этапа исследования

В данном исследовании был проведен дискриптивный и статистический анализы по следующим параметрам: визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов (правых и левых), а также головы.

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 (Polikan-

ova et al., 2021). Помимо этого, профессиональные игроки демонстрируют четкие и стабильные паттерны в ответ на предъявление шайбы, что может свидетельствовать об оптимизации затрат ресурсов.

Профессиональные хоккеисты также показали значимо меньшую амплитуду колебаний головы, что может свидетельствовать о хорошо сформированном пространственном факторе: то есть они достаточно хорошо понимают положение своего тела во время определенных действий, им не нужно наблюдать полную траекторию движения шайбы и они быстрее ее фиксируют (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.

Полученные данные хорошо согласуются с работами Д. Альпини с коллегами (Alpini et al., 2008). Согласно позиции авторов, стабилизация позы необходима для обеспечения сенсомоторной преддвигательной платформы для планирования адекватного моторного контроля в начале движения тела. А для стабилизации позы необходима стабилизация головы, которая выступает в качестве контролера стабилизации всего тела и обеспечивает его дальнейшее перемещение (Ledebed et al., 1996). Для управления позой и стабилизацией головы необходима конвергенция сигналов от различных систем: зрительной, слуховой, вестибулярной, сенсомоторной и др. (Massion, 1992, 1998; Norre, 1990).

Хоккей является очень динамичной игрой, требующей как хорошо сформированной техники игры и двигательных навыков, так и умения одновременно анализировать большой объем информации и принимать решения на ее основе. Это в свою очередь требует высокой координации всего тела при выполнении различных двигательных актов во время игры без зрительного контроля, что приводит к высокой нагрузке на вестибулярную систему.

Постуральный баланс должен быть оптимизирован для поддержания адекватного равновесия на льду. Контроль головы при этом играет важную роль, обеспечивая во время катания на коньках с высоким

ускорением визуальное изучение игрового поля и игровых ситуаций, в том числе благодаря развитой антиципации и способности выполнять хоккейные специфические моторные навыки без зрительного контроля. Таким образом, хоккей представляет собой интересную модель для оценки того, как специфические спортивные задачи могут вызывать адаптацию статических и динамических стратегий в постуральном контроле.

Выводы

По результатам анализа данных позиционного отслеживания с систем DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0 можно сделать следующие выводы:

1) 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 — от 1 до 3 градусов. Новички же характеризовались колебаниями, не превосходящими 1 градуса. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым хоккеистам более свойственна «тазобедренная» стратегия поддержания постурального баланса, которая связана с большей амплитудой колебаний тазобедренных суставов, что в свою очередь должно учитываться в тренировочном процессе;

2) относительно типичных ошибок начинающих хоккеистов (распрямление, сведение коленей, увеличение наклона вперед) полученные нами данные свидетельствуют о важности корректного позиционирования головы, которое отсутствует у новичков, что говорит не только о распрямлении тела, но и сильных поворотах головы (видимо для отслеживания перемещения шайбы), что затрудняет стабилизацию постурального баланса. Визуальный качественный анализ изменений углов коленных и тазобедренных суставов показал, что у профессиональных хоккеистов, в отличие от новичков, наблюдается более высокая и ста-

бильная амплитуда колебаний показателей движений на всем интервале наблюдений, что в свою очередь позволяет оптимизировать энергозатратность и обеспечивать лучшую стабилизацию позы. Относительно ошибки, связанной с увеличением наклона тела вперед значимых различий получено не было;

3) по данным, записанным на DTrack2 и SteamVR Tracking 2.0 различия в выбранных маркерных величинах не наблюдалось. Соответственно, использование каждой из этих систем в отдельности будет одинаково эффективно. Дальнейшие этапы данного исследования проводились с использованием системы SteamVR Tracking 2.0, поскольку она является более мобильной.

Ограничения

Данное исследование имеет некоторые ограничения. Первое — это небольшой размер выборки. Поскольку в исследовании участвовали 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 на большей выборке с добавлением других видов спорта или людей без профессиональной спортивной подготовки могут помочь лучше понять различия в приобретении хоккейных профессиональных навыков с помощью VR.

Литература:

- Букагин А.Ю., Перегудов Ю.Н. Начальное обучение технике катания на коньках // Хоккей: Ежегодник. 1985. С. 43–49.
- Винарская Е.Н., Фирсов Г.И. Анализ роли кинестетической чувствительности в управлении статикой вертикальной позы тела человека // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. 13 (2). С. 1001–1011.
- Грибанов А.В., Шерстенникова А.К. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2013. (4). С. 20–29.
- Гроховский С.С., Кубряк О.В. Метод интегральной оценки эффективности регуляции позы человека // Медицинская техника. 2018. 2. С. 49–52.
- Денискина Н.В. Фронтальная устойчивость вертикальной позы человека: дисс. ... канд. биол. наук. Москва, 2009.
- Кубряк О.В. Системные механизмы регуляции стабильности и управляемости вертикальной позы человека: дисс. ... д-ра биол. наук. Москва, 2017.
- Лашкул А.С., Федорова М.Ю. 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 / Под ред. Е.В. Панова. Красноярск: Сибирский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2020.

- Леонов С.В., Поликанова И.С., Кручинина А.П., Бугрий Г.С., Булаева Н.И., Сухочев П.Ю. Сравнение постурального баланса у профессиональных хоккеистов и новичков. В сборнике *Cognitive Neuroscience* — 2020: материалы международного форума / Под ред. Э.Э. Сыманюк. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021.
- Леонов С.В., Поликанова И.С., Чертополохов В.А., Белоусова М.Д. Формирование профессионального мастерства хоккеистов средствами виртуальной реальности. В сборнике «Способности и ментальные ресурсы человека в мире глобальных» / Отв. ред. А.Л. Журавлев, М.А. Холодная, П.А. Сабадош. М.: Институт психологии РАН, 2020.
- Мельников И.В. Техническая подготовка хоккеиста [Электронный ресурс] // 2013. URL: https://www.litres.ru/ilya-melnikov/fizicheskaya-podgotovka-hokkeista/#buy_now_noreg (дата обращения: 27.04.2022).
- 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. В сборнике Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по спортивной науке: «Подготовка спортивного резерва», 2020.
- Рябина К.Е., Исаев А.П. Биомеханика поддержания вертикальной позы (обзор моделей поддержания равновесия) // *Человек. Спорт. Медицина*. 2015. 15 (4). С. 93–98.
- Савин В.П. Теория и методика хоккея: учебник для студентов вузов. М.: Академия, 2003.
- Терехов А.В., Левик Ю.С., Солопова И.А. Механизмы коррекции референтного положения в системе регуляции вертикальной позы // *Физиология человека*. 2007. 33 (3). С. 40–47.
- Alpini, D., Hahn, A., & Riva, D. (2008). Static and dynamic postural control adaptations induced by playing ice hockey. *Sport Sciences for Health*, 2 (3), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s11332-008-0045-7>
- Azraai, N.Z., Soh, A.A.S.A., & Jafri, M.Z.M. (2017). Power estimation of martial arts movement using 3D motion capture camera. *Digital Optical Technologies*, 10335, 103351T. <https://doi.org/10.1117/12.2270135>
- Babic, T., Reiterer, H., & Haller, M. (2018). Pocket: A 6DoF Controller Based On A Simple Smartphone Application. *Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*, 2–10. <https://doi.org/10.1145/3267782.3267785>
- Behan, B. (2020). Swiss National League Goalie Analysis. (Retrieved from <https://doi.org/10.2139/ssrn.3751132>) (review date: 15.05.2022).
- Best VR Gloves. (Retrieved from <https://www.glovesmag.com/vr-gloves/>) (review date: 10.05.2021).
- Blanár, M., Broďáni, J., Czaková, M., & Kováčová, N. (2020). Dependence of the skating and running performance on the explosive strength of lower limbs and dynamic balance of ice hockey players. *Sport Science*, 1 (12), 16–22.
- Boileau, R., Horswill, C. (2000). Exercise and Sport Science. In William E. Garrett Jr. and Donald T. Kirkendall (Eds.). Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.
- Bracko, M.R. (2004). Biomechanics powers ice hockey performance. *Biomechanics*, 9, 47–53.
- 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. <https://doi.org/10.1080/15438629809512531>
- Čech, P. (2015). Effect of Short Term Balance Training on Postural Stability in Ice Hockey Players. *Auc kinanthropologica*, 50 (2), 13–20.
- Yard, E.E., & Comstock, R.D. (2006). Injuries sustained by pediatric ice hockey, lacrosse, and field hockey athletes presenting to United States emergency departments, 1990–2003. *Journal of athletic training*, 41 (4), 441–449.
- 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. <https://doi.org/10.2466/05.10.23.25.PMS.112.1.29-43>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.981852>
- Kruchinina, A.P., Latonov, V.V., & Chertopolokhov, V.A. (2019). Review of Visual Imitation Technologies in Simulation Systems. *Manned spaceflight*, 3 (32), 89–107. <https://doi.org/10.34131/MSF.19.3.89-107>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763140701491427>
- Ledebt, A., Wiener-Vacher, S. (1996). Head coordination in the sagittal plane in toddlers during walking: preliminary results. *Brain Res Bull*, 40 (5–6), 371–373.
- Lin, B.-S., Lee, I.-J., Yang, S.-Y., Lo, Y.-C., Lee, J., & Chen, J.-L. (2018). Design of an Inertial-Sensor-Based Data Glove for Hand Function Evaluation. *Sensors*, 18 (5), 1545. <https://doi.org/10.3390/s18051545>
- Maereg, A., Secco, E., Agidew, T., Reid, D., & Nagar, A. (2017). A Low-Cost, Wearable Opto-Inertial 6-DOF Hand Pose Tracking System for VR. *Technologies*, 5 (3), 49. <https://doi.org/10.3390/technologies5030049>
- Majcen Rosker, Z., Kristjansson, E., Vodigar, M., & Rosker, J. (2021). Postural balance and oculomotor control are influenced by neck kinaesthetic functions in elite ice hockey players. *Gait & Posture*, 85, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.024>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1080/10671315.1977.10762155>
- Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38 (1), 35–56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)90034-C](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)90034-C)
- Massion, J. (1998). Postural Control Systems in Developmental Perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22 (4), 465–472. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(97\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(97)00031-6)

- 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>
- McCaw, S.T., & Hoshizaki, T.B. (1987). A kinematic comparison of novice, intermediate, and elite ice skaters. *Biomechanics XB*, 637–642.
- Montgomery, D.L. (1988). Physiology of Ice Hockey. *Sports Medicine*, 5 (2), 99–126. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805020-00003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101829>
- Norrè, M.E. (1990). Posture in otoneurology. *Acta Otorhino laryngol Belg*, 44 (2–3), 55–181.
- Pandey, R., Pidlypenskiy, P., Yang, S., & Kaeser-Chen, C. (2018). Efficient 6-dof tracking of handheld objects from an egocentric viewpoint. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), (pp. 416–431).
- 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*. <https://doi.org/10.20944/preprints202103.0776.v1>
- Schlattmann, M., Kahlesz, F., Sarlette, R., & Klein, R. (2007). Markerless 4 gestures 6 DOF real-time visual tracking of the human hand with automatic initialization. *Computer Graphics Forum*, 26 (3), 467–476. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2007.01069.x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1306095>
- Temoche, P., Ramirez, E., & Rodríguez, O. (2012). A low-cost data glove for virtual reality. In *Proceedings of XI International Congress of Numerical Methods in Engineering and Applied Sciences (CIMENICS)*, (pp. TCG31–36). Caracas.
- Tramer, J.S., Deneweth, J.M., Whiteside, D., Ross, J.R., Bedi, A., & Goulet, G.C. (2015). On-Ice Functional Assessment of an Elite Ice Hockey Goaltender After Treatment for Femoroacetabular Impingement. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 7 (6), 542–547. <https://doi.org/10.1177/1941738115576481>
- Tuppurainen, J. (2021). Maintenance of Hip and Core Areas for Ice Hockey Goaltenders — A Video Training Guide. (Retrieved from https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/495106/Juuso_Tuppurainen.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (review date: 26.04.2022).
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763140701841621>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.09.009>
- Whiteside, D., Deneweth, J.M., Bedi, A., Zernicke, R.F., & Goulet, G.C. (2015). Femoroacetabular Impingement in Elite Ice Hockey Goaltenders: Etiological Implications of On-Ice Hip Mechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 43 (7), 1689–1697. <https://doi.org/10.1177/0363546515578251>
- Wilberg, R.B. (1979). The basic stance of age-group ice hockey goalkeepers. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquees Au Sport*, 4 (1), 66–70.
- Wörner, T., Frayne, R.J., Magnusson, T., & Eek, F. (2021). The Perceived Demands of Ice Hockey Goaltending Movements on the Hip and Groin Region: An Elite Coach and Player Perspective. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9 (11), 2325967121110556. <https://doi.org/10.1177/232596712111055699>

References:

- Bukatin, A.Yu., & Peregodov, Yu.N. (1985). Initial training in skating technique. *Khokkei: Ezhegodnik (Hockey: Yearbook)*, 43–49. (In Russ.).
- Vinarskaya, E.N., & Firsov, G.I. (2018). Analysis of the role of kinesthetic sensitivity in controlling the statics of vertical human body posture. *Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya (Health-the basis of human potential: problems and solutions)*, 13 (2), 1001–1011. (In Russ.).
- Gribanov, A.V., & Sherstennikova, A.K. (2013). Physiological mechanisms of regulation of human postural balance (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy (Journal of biomedical research)*, (4), 20–29. (In Russ.).
- Grokhovskii, S.S., & Kubryak, O.V. (2018). A method for integral assessment of human posture regulation efficiency. *Meditinskaya tekhnika (Medical Engineering)*, 2, 49–52. (In Russ.).
- Deniskina, N.V. (2009). Frontal'naya ustojchivost' vertikal'noj pozy cheloveka: Diss. ... kand. biol. nauk. (Frontal stability of human upright posture: dissertation). Ph.D. (Biology). Moscow. (In Russ.).
- Kubryak, O.V. (2017). Sistemnye mekhanizmy regulyatsii stabil'nosti i upravlyaemosti vertikal'noi pozy cheloveka: diss. ... doct. psikholog. nauk. (System mechanisms of regulation of stability and controllability of human upright posture). Doctoral dissertation (Biology). Moscow. (In Russ.).
- Lashkul, A.S., & Fedorova, M.Yu. (2020). Methodological peculiarities of teaching motor action technique to young ice hockey goalkeepers at the initial stage of training. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Optimization of educational and training process in educational institutions of higher education. Healthy Lifestyle as a Factor of Drug Abuse Prevention”, (pp. 161–166). Krasnoyarsk. (In Russ.).

- Leonov, S.V., Polikanova, I.S., Kruchinina, A.P., Bugrii, G.S., Bulaeva, N.I., & Sukhochev, P.Yu. (2021). Comparison of postural balance in professional hockey players and novices. *Cognitive Neuroscience*, (pp. 140–144). Ekaterinburg. (In Russ.).
- Leonov, S.V., Polikanova, I.S., Chertopolokhov, V.A., & Belousova, M.D. (2020). Formation of professional skill of hockey players by means of virtual reality. *Human abilities and mental resources in a world of global*, p. 1471. (In Russ.).
- Meľnikov, I.V. (2013). Technical training of a hockey player. (Retrieved from https://www.litres.ru/ilya-melnikov/fizicheskaya-podgotovka-hokkeista/#buy_now_noreg) (data review date: 27.04.2022). (In Russ.).
- Polikanova, I.S., Leonov, S.V., Sukhochev, P.Yu., Bugrii, G.S., Kruchinina, A.P. (2020). The use of virtual reality technologies to train hockey players of different skill levels. *Proceedings of IV All-Russian Scientific-Practical Conference with international participation on Sports Science: "Preparation of Sports Reserve"*, (pp. 349–356). (In Russ.).
- Ryabina, K.E., & Isaev, A.P. (2015). Biomechanics of upright posture maintenance (review of models of balance maintenance). *Chelovek. Sport. Meditsina (Man. Sport. Medicine)*, 15 (4), 93–98. (In Russ.).
- Savin, V.P. (2003). *Theory and Methodology of Hockey: textbook for students of higher education institutions*. M.: Akademiya. (In Russ.).
- Terekhov, A.V., Levik, Yu.S., & Solopova, I.A. (2007). Mechanisms of reference position correction in the vertical posture regulation system. *Fiziologiya cheloveka (Human Physiology)*, 33 (3), 40–47. (In Russ.).
- Alpini, D., Hahn, A., & Riva, D. (2008). Static and dynamic postural control adaptations induced by playing ice hockey. *Sport Sciences for Health*, 2 (3), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s11332-008-0045-7>
- Azraai, N.Z., Soh, A.A.S.A., & Jafri, M.Z.M. (2017). Power estimation of martial arts movement using 3D motion capture camera. *Digital Optical Technologies*, 10335, 103351T. <https://doi.org/10.1117/12.2270135>
- Babic, T., Reiterer, H., & Haller, M. (2018). Pocket: A 6DoF Controller Based On A Simple Smartphone Application. *Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*, 2–10. <https://doi.org/10.1145/3267782.3267785>
- Behan, B. (2020). Swiss National League Goalie Analysis. SSRN. *Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3751132>
- Best VR Gloves. (Retrieved from <https://www.glovesmag.com/vr-gloves/>) (review date: 10.05.2021).
- Blanár, M., Broďani, J., Czaková, M., & Kováčová, N. (2020). Dependence of the skating and running performance on the explosive strength of lower limbs and dynamic balance of ice hockey players. *Sport Science*, 1 (12), 16–22.
- Boileau, R., Horswill, C. (2000). *Exercise and Sport Science*. In William E. Garrett Jr. and Donald T. Kirkendall (Eds.). Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.
- Bracko, M.R. (2004). Biomechanics powers ice hockey performance. *Biomechanics*, 9, 47–53.
- 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. <https://doi.org/10.1080/15438629809512531>
- Čech, P. (2015). Effect of Short Term Balance Training on Postural Stability in Ice Hockey Players. *Auc kineanthropologica*, 50 (2), 13–20.
- Yard, E.E., & Comstock, R.D. (2006). Injuries sustained by pediatric ice hockey, lacrosse, and field hockey athletes presenting to United States emergency departments, 1990–2003. *Journal of athletic training*, 41 (4), 441–449.
- 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. <https://doi.org/10.2466/05.10.23.25.PMS.112.1.29-43>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.981852>
- Kruchinina, A.P., Latonov, V.V., & Chertopolokhov, V.A. (2019). Review of Visual Imitation Technologies in Simulation Systems. *Manned spaceflight*, 3 (32), 89–107. <https://doi.org/10.34131/MSE.19.3.89-107>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763140701491427>
- Ledebt, A., Wiener-Vacher, S. (1996). Head coordination in the sagittal plane in toddlers during walking: preliminary results. *Brain Res Bull*, 40 (5–6), 371–373.
- Lin, B.-S., Lee, I.-J., Yang, S.-Y., Lo, Y.-C., Lee, J., & Chen, J.-L. (2018). Design of an Inertial-Sensor-Based Data Glove for Hand Function Evaluation. *Sensors*, 18 (5), 1545. <https://doi.org/10.3390/s18051545>
- Maereg, A., Secco, E., Agidew, T., Reid, D., & Nagar, A. (2017). A Low-Cost, Wearable Opto-Inertial 6-DOF Hand Pose Tracking System for VR. *Technologies*, 5 (3), 49. <https://doi.org/10.3390/technologies5030049>
- Majcen Rosker, Z., Kristjansson, E., Vodigar, M., & Rosker, J. (2021). Postural balance and oculomotor control are influenced by neck kinaesthetic functions in elite ice hockey players. *Gait & Posture*, 85, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.024>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1080/10671315.1977.10762155>
- Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38 (1), 35–56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)90034-C](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)90034-C)
- Massion, J. (1998). Postural Control Systems in Developmental Perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22 (4), 465–472. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(97\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(97)00031-6)
- 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>

- McCaw, S.T., & Hoshizaki, T.B. (1987). A kinematic comparison of novice, intermediate, and elite ice skaters. *Biomechanics XB*, 637–642.
- Montgomery, D.L. (1988). Physiology of Ice Hockey. *Sports Medicine*, 5 (2), 99–126. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805020-00003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101829>
- Norrè, M.E. (1990). Posture in otoneurology. *Acta Otorhino laryngol Belg*, 44 (2–3), 55–181.
- Pandey, R., Pidlypenskyi, P., Yang, S., & Kaeser-Chen, C. (2018). Efficient 6-dof tracking of handheld objects from an egocentric viewpoint. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), (pp. 416–431).
- 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*. <https://doi.org/10.20944/preprints202103.0776.v1>
- Schlattmann, M., Kahlesz, F., Sarlette, R., & Klein, R. (2007). Markerless 4 gestures 6 DOF real-time visual tracking of the human hand with automatic initialization. *Computer Graphics Forum*, 26 (3), 467–476. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2007.01069.x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1306095>
- Temoche, P., Ramírez, E., & Rodríguez, O. (2012). A low-cost data glove for virtual reality. In *Proceedings of XI International Congress of Numerical Methods in Engineering and Applied Sciences (CIMENICS)*. Caracas, 2012, pp. TCG31–36.
- Tramer, J.S., Deneweth, J.M., Whiteside, D., Ross, J.R., Bedi, A., & Goulet, G.C. (2015). On-Ice Functional Assessment of an Elite Ice Hockey Goaltender After Treatment for Femoroacetabular Impingement. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 7 (6), 542–547. <https://doi.org/10.1177/1941738115576481>
- Tuppurainen, J. (2021). Maintenance of Hip and Core Areas for Ice Hockey Goaltenders — A Video Training Guide. (Retrieved from https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/495106/Juuso_Tuppurainen.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (review date: 26.04.2022).
- 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. <https://doi.org/10.1080/14763140701841621>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.09.009>
- Whiteside, D., Deneweth, J.M., Bedi, A., Zernicke, R.F., & Goulet, G.C. (2015). Femoroacetabular Impingement in Elite Ice Hockey Goaltenders: Etiological Implications of On-Ice Hip Mechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 43 (7), 1689–1697. <https://doi.org/10.1177/0363546515578251>
- Wilberg, R.B. (1979). The basic stance of age-group ice hockey goalkeepers. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquees Au Sport*, 4 (1), 66–70.
- Wörner, T., Frayne, R.J., Magnusson, T., & Eek, F. (2021). The Perceived Demands of Ice Hockey Goaltending Movements on the Hip and Groin Region: An Elite Coach and Player Perspective. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9 (11), 2325967121110556. <https://doi.org/10.1177/232596712111055699>

Статья получена 23.03.2022;
принята 16.05.2022;
отредактирована 26.05.2022

Received 23.03.2022;
accepted 16.05.2022;
revised 26.05.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT AUTHORS



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

Sergey V. Leonov — PhD in Psychology, Associate Professor, Department of Methodology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, svleonov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>



Кручинина Анна Павловна — кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, a.kruch@moids.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9720-8163>

Anna P. Kruchinina — PhD in Physics and Mathematics, Assistant Professor at the Department of Applied Mechanics and Control, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, a.kruch@moids.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9720-8163>



Бугрий Григорий Степанович — младший научный сотрудник лаборатории математического обеспечения имитационных динамических систем механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, gregbugr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-4189>

Bugrii G. Stepanovich — Junior Researcher, Laboratory of Mathematical Support for Simulation Dynamical Systems, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, gregbugr@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-4189>



Булаева Наталья Игоревна — оператор ЭВМ лаборатории по обеспечению учебного процесса и практикума по общей психологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, natali.psy99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4904-3031>

Natalia I. Bulaeva — Computer Operator, Laboratory of General Psychology, Faculty of Psychology, M.V. Lomonosov Moscow State University, natali.psy99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4904-3031>



Поликанова Ирина Сергеевна — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Психология профессий и конфликта» факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник Лаборатории исследований молекулярных механизмов долголетия Факультета биологии и биотехнологии НИУ ВШЭ, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Irina S. Polikanova — PhD in Psychology, Senior Researcher, Laboratory “Psychology of Professions and Conflict”, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University; Researcher, Laboratory of Research on Molecular Mechanisms of Longevity, Faculty of Biology and Biotechnology, Higher School of Economics, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>