

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ ХОККЕИСТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

И.И. Новикова¹, novikova_ii@niig.su, <https://orcid.org/0000-0003-1105-471X>

В.Н. Коновалов², tafoms@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9033-9322>

Д.А. Бернатовичюс³, tafoms@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6020-5837>

Н.С. Веремчук⁴, n-veremchuk@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2709-9755>

М.В. Семенихина¹, semenikhina_mv@niig.su, <https://orcid.org/0000-0002-1513-3565>

¹ Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Новосибирск, Россия

² Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия

³ СДЮСАШОР А.В. Кожевникова, Омск, Россия

⁴ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

Аннотация. Цель: разработка методики экспресс-оценки результативности выполнения движений хоккеистом в процессе тренировки с применением компьютерного зрения. **Материалы и методы.** Авторская методика базируется на сравнении построенных траекторий движения хоккеиста во время выполнения упражнения в трехмерном пространстве с эталонными траекториями. При трехмерной реконструкции используется модель BODY_25. Эталонные движения выбираются тренером. Видеосъемка проводится синхронно на две RGB-камеры. Сравнение построенных траекторий движения хоккеистов в ходе выполнения ими упражнений с эталонными проводилось путем расчета среднего расстояния между точками кривой, задающей траекторию движения сустава спортсмена, и точками кривой, задающей соответствующее эталонное движение. Попытка выполнения упражнения спортсменом считается результативной, если расчетное расстояние для всех кривых, задающих движения спортсмена во время его выполнения, меньше порогового значения. На базе СДЮСАШОР А.В. Кожевникова (г. Омск) осуществлялась запись пяти попыток выполнения квалифицированным хоккеистом броска с длинным разгоном шайбы в условиях зала. **Результаты.** В качестве реперных точек взяты точки, характеризующие движения плечевого пояса, таза, кистей хоккеиста. Расчеты показали, что попытки выполнения упражнения хоккеистом значительно отличаются от эталона и нерезультативны. **Заключение.** Применение разработанной методики станет одним из инструментов повышения качества и результативности тренировочного процесса в хоккее.

Ключевые слова: результативность выполнения упражнения, хоккей, бросок шайбы, 3D реконструкция

Для цитирования: Методика экспресс-оценки результативности выполнения движений хоккеистом с применением компьютерного зрения / И.И. Новикова, В.Н. Коновалов, Д.А. Бернатовичюс и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № 4. С. 104–110. DOI: 10.14529/hsm240413

EXPRESS EVALUATION FOR MOVEMENT EFFECTIVENESS IN HOCKEY PLAYERS USING COMPUTER VISION

I.I. Novikova¹, novik_ir70@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1105-471X>

V.N. Konovalov², tafoms@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9033-9322>

D.A. Bernatavicius³, tafoms@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6020-5837>

N.S. Veremchuk⁴, n-veremchuk@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2709-9755>

M.V. Semenikhina¹, semenikhina_mv@niig.su, <https://orcid.org/0000-0001-8405-4847>

¹ Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia

² Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia

³ A.V. Kozhevnikov Specialized Children and Youth Adaptive Sports School of the Olympic Reserve, Omsk, Russia

⁴ Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

Abstract. Aim. This paper aims to develop a novel methodology for express evaluation of hockey player movement performance during training via computer vision techniques. **Materials and methods.** The author's approach involves a three-dimensional reconstruction of player movements using the BODY_25 model and a comparison of reconstructed trajectories against reference movements defined by trainers. This comparison consists of the calculation of the average distance between athlete and reference trajectories followed by a threshold-based determination of exercise effectiveness. The author's analysis involved five attempts by a skilled hockey player to perform a long-puck acceleration throw. **Results.** Reference points included shoulder girdle, pelvis, and hand movements. The author's analysis revealed significant discrepancies between player attempts and standard reference movements, indicating suboptimal performance. **Conclusions.** This methodology seems to be promising to enhance training effectiveness and hockey performance in general.

Keywords: exercise performance, hockey, puck throw, 3D reconstruction

For citation: Novikova I.I., Konovalov V.N., Bernatavicius D.A., Veremchuk N.S., Semenikhina M.V. Express evaluation for movement effectiveness in hockey players using computer vision. *Human. Sport. Medicine.* 2024;24(4):104–110. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm240413

Введение. Вопросам применения технологий компьютерного зрения в хоккее при оценке различных аспектов достижений спортсменов уделяется значительное внимание. Библиографический поиск по указанной проблематике показал, что в настоящее время при подготовке хоккеистов активно используются стандартизированные тесты для оценки двигательных действий спортсменов. Как считают специалисты (В.П. Савин, 1993), критерии оценивания универсализированы и позволяют оценить любое техническое двигательное действие хоккеиста [2]. Но данные тесты основаны на применении экспертного анализа, что определяет наличие субъективности при решении вопросов оценки и не позволяет получать результаты достаточной точности, которая необходима в современном спорте, а также в ряде случаев полученные результаты невоспроизводимы [1, 3].

Как показал мировой и отечественный опыт, для решения вопросов объективной оценки в спорте необходимо применение технологий компьютерного зрения и глубокого обучения [4–9].

В настоящее время в хоккее технологии компьютерного зрения применяются для детектирования движения спортсменов на среднем и дальнем полях с применением различных типов нейронных сетей [7], технологий STIP (survey of human action recognition with spatio-temporal interest point) [6] и MoSIFT (Motion scale-invariant feature transform) [4].

Авторское исследование направлено на совершенствование инструментария оценки специальной и физической подготовленности хоккеистов с применением технологий компьютерного зрения.

Цель исследования: разработать методике экспресс-оценки результативности вы-

полнения движений хоккеистом в процессе тренировки с применением компьютерного зрения.

Методика экспресс-оценки результативности выполнения движений хоккеистом в процессе тренировки. В основе методики лежит сравнение построенных траекторий движения хоккеиста во время выполнения упражнения в трехмерном пространстве с эталонными. При решении задачи трехмерной реконструкции используется модель BODY_25 [8]. С учетом специфики упражнений экспертным путем выбираются наиболее значимые для оценки результативности ключевые точки, характеризующие положение суставов спортсмена во времени в пространстве. Проводится видеосъемка выполнения упражнения синхронно на две RGB-камеры, расположенные перпендикулярно друг другу (рис. 1). В качестве RGB-камер могут быть использованы сотовые телефоны. Далее полученные видеоряды обрабатываются в видеоредакторе. С применением нейросетей, методов начертательной и параметрической геометрии определяются значения координат точек для каждого такта времени в трехмерном пространстве. Для построения траекторий движения ключевых точек в трехмерном пространстве используется аппроксимация полиномами.

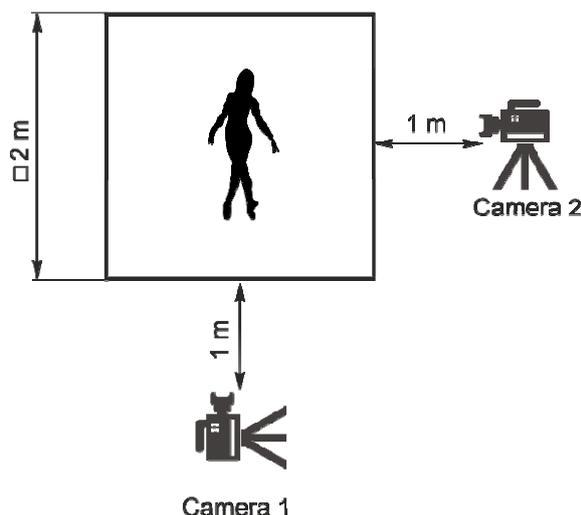


Рис. 1. Расположение камер во время съемки упражнения
Fig. 1. Camera placement for exercise recording

В качестве эталонных движений выбраны те движения хоккеиста, которые на основании опыта эксперта (тренера) признаны правильными (выполненными без ошибок). При необходимости могут быть сформированы усред-

ненные эталонные траектории движений спортсмена. Эталонные движения формируют базу данных эталонных движений.

Сравнение построенных траекторий движения хоккеиста с эталонными проводилось путем расчета среднего расстояния между соответствующими точками кривой. Расстояние определялось по формуле

$$e_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2},$$

где x_s, y_s, z_s – координаты ключевой точки, задающей траекторию движения спортсмена во время выполнения упражнения; x_r, y_r, z_r – координаты ключевой точки, задающей траекторию эталонного движения спортсмена во время выполнения упражнения.

Попытка выполнения упражнения спортсменом считается результативной, если e_k для всех кривых, задающих движения спортсмена, меньше порогового значения, которое определяется в ходе ряда предварительных исследований и корректируется экспертным путем.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе СДЮСАШОР А.В. Кожевникова (г. Омск). Осуществлялась запись пяти попыток выполнения квалифицированным хоккеистом одного из основных видов бросков в хоккее – броска с длинным разгоном шайбы. Упражнение выполнено в условиях зала. Одна из попыток выбрана в качестве эталона.

В исследовании использованы две IP-камеры, размещенные на штативах (1/2.9" SmartSens CMOS (SC307E), XM530; 1080p, 720p@ 25 к/с). Перед проведением видеосъемки с помощью специальных меток выделен квадрат с длиной стороны 2 м. В квадрате испытуемый выполнял упражнение. Камеры располагались перпендикулярно друг другу на расстоянии 1 м от центра сторон указанного квадрата. Начало и конец выполнения упражнения сопровождалось специальными звуковыми сигналами, которые использовались для обрезки видеофрагментов и подготовки их к обработке. Средняя длительность видеофрагментов составила 4,5 с.

Результаты. По данным В.П. Савина (1993), подготовительная фаза выполнения упражнения включает отведение клюшки назад-вверх, затем маховое движение вниз-вперед [2]. В фазе замаха хоккеист одновременно с отведением клюшки «скручивает» туловище. Маховое движение клюшки вниз-

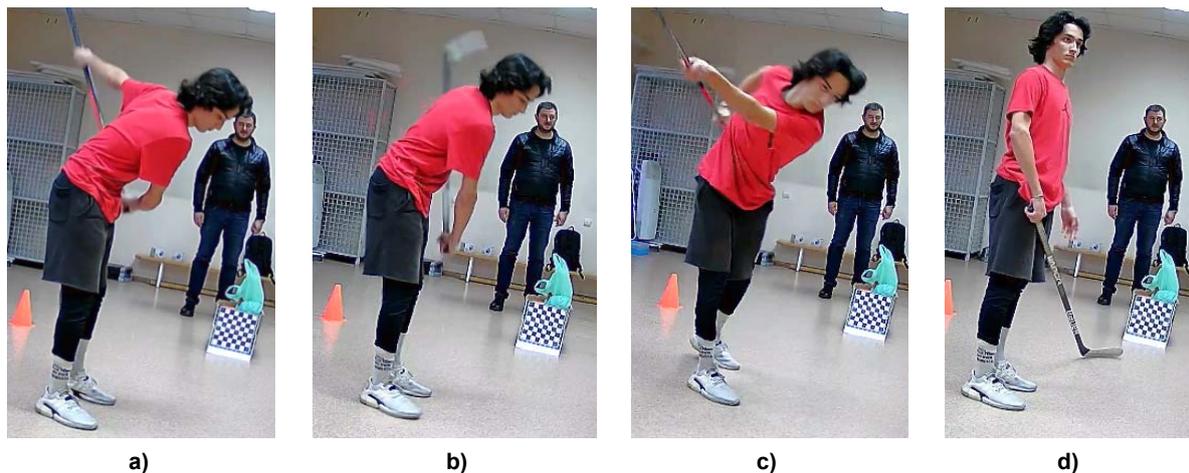


Рис. 2. Скриншоты из видео выполнения броска хоккеистом во второй попытке: а – подготовительная фаза, б – основная фаза, с – заключительная фаза, d – возвращение на исходную позицию
Fig. 2. Screenshots of throwing performance during the second attempt: a – preparatory phase, b – main phase, c – final phase, d – return to the starting position

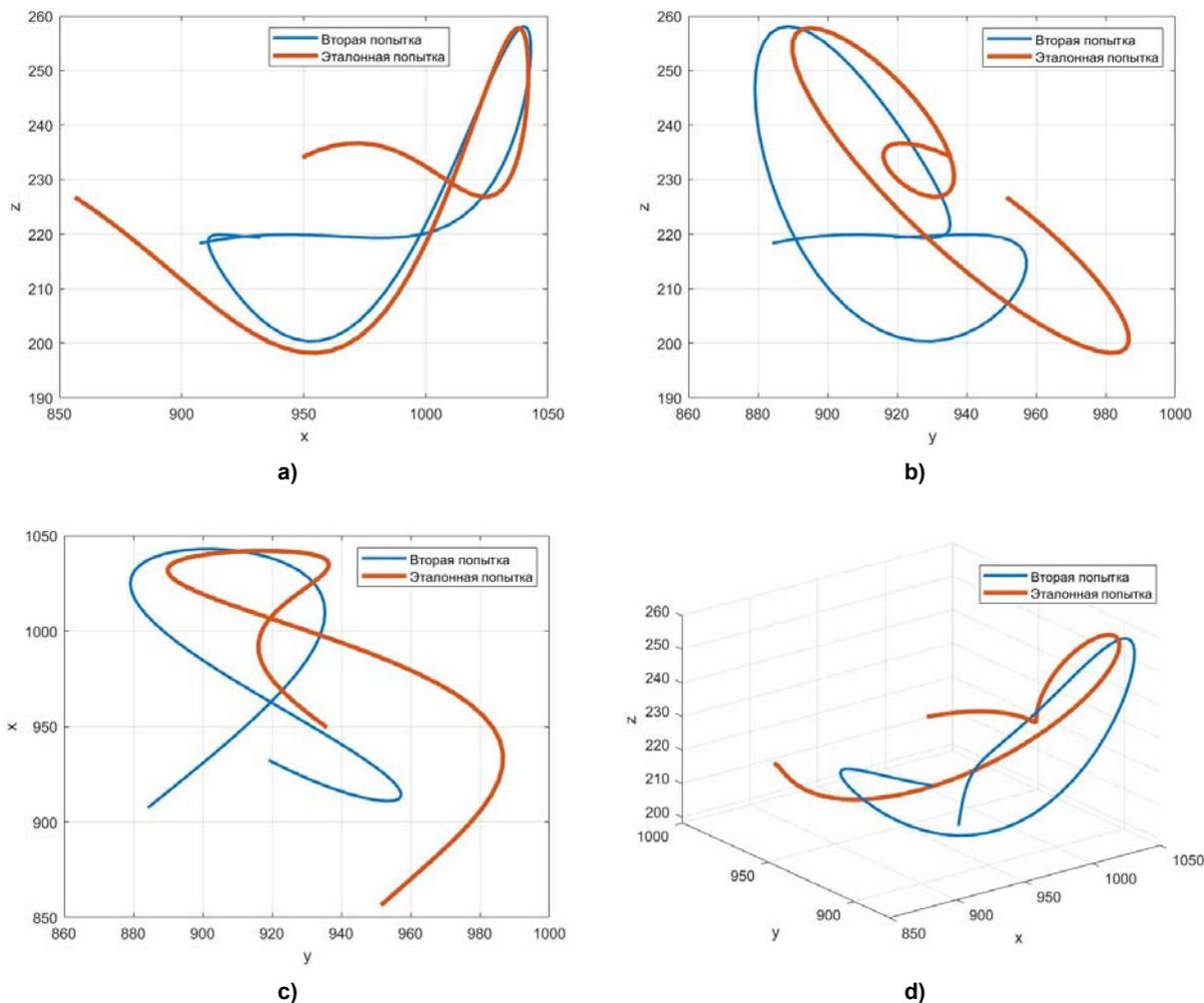


Рис. 3. Траектории движений: а – фронтальная проекция, б – профильная проекция, с – горизонтальная проекция, d – 3d-реконструкция
Fig. 3. Movement trajectories: a – frontal projection, b – profile projection, c – horizontal projection, d – 3d-reconstruction

Результаты расчета расстояний между построенными кривыми, характеризующими движения ключевых точек, во время попыток выполнения упражнения хоккеистом и соответствующими эталонами
Comparison of reconstructed trajectories against reference movements

Траектория движения, задаваемая точкой		Значение расстояний Distance			
		Попытка 2 Attempt 2	Попытка 3 Attempt 3	Попытка 4 Attempt 4	Попытка 5 Attempt 5
2	Правое плечо Right shoulder	34,15	36,15	34,35	34,6
5	Левое плечо Left shoulder	32,11	32,12	30,41	31,14
9	Тазобедренный сустав правая конечность Right sacroiliac joint	30,01	35,3	33,01	31,01
12	Тазобедренный сустав левая конечность Left sacroiliac joint	35,16	35,4	31,16	33,18
4	Запястье правой руки Right wrist	31,2	32,12	36,2	36,42
7	Запястье левой руки Left wrist	33,5	37,6	34,5	34,85
		Не результативна Failed attempt	Не результативна Failed attempt	Не результативна Failed attempt	Не результативна Failed attempt

Примечание. Пороговое значение результативности – 30,03.

Note. Threshold performance – 30,03.

вперед сопровождается поворотом туловища в сторону полета шайбы, переносом массы тела на впереди стоящую ногу, толчком сзади стоящей ноги, «навалом» туловища на шайбу при поступательном движении прямой «нижней» руки. В основной фазе осуществляется соударение крюка клюшки с шайбой. Скорость их движения резко возрастает за счет взрывных усилий мышц плечевого пояса и кистей рук, действия упругих сил клюшки, освобожденной от деформации, и механизма разнонаправленного движения кистей рук. Заканчивается фаза взрывным хлестообразным движением кистей рук, осуществляющим резкий поворот крюка в направлении полета шайбы. В заключительной фазе, как и в бросках, происходит торможение поступательного движения звеньев тела и крюка клюшки [2].

Для иллюстрации работы различных звеньев тела в качестве реперных точек взяты точки – 2, 5 (отражают движение плечевого пояса хоккеиста), 9, 12 (отражают движения таза), 4, 7 (отражают движение рук спортсмена). Первая попытка выполнения упражнения хоккеистом обозначена как эталонная.

На рис. 2 приведены скриншоты выполнения второй попытки упражнения хоккеистом. Построенные траектории движения в плоскостях проекций (фронтальная, профильная и горизонтальная) и в пространстве точки 2

(правое плечо спортсмена) для первой и второй попыток представлены на рис. 3.

Значения расстояний между построенными кривыми и соответствующими эталонами приведены в таблице.

Как видно из таблицы, попытки 2–5 не могут быть признаны результативными, так как отмечаются значимые отклонения траекторий движений от эталона.

Вывод. Поэтапное освоение двигательных действий предполагает многократное повторение упражнений с целью формирования рациональных двигательных паттернов движения. Для отслеживания качества их формирования наиболее перспективными являются технологии компьютерного зрения, позволяющие реконструировать траектории движения спортсмена в n-мерном пространстве, визуализировать их, а также рассчитывать необходимые для контроля параметры. Это позволит объективно оценить результативность реализации тренировочного процесса в спорте в микро-, мезо- и макроциклах.

В данной статье приведена авторская методика экспресс-оценки результативности выполнения движений хоккеистом во время тренировки с применением нейронных сетей и глубокого обучения. Выполнена ее апробация на примере выполнения квалифицирован-

ным хоккеистом броска с длинным разгоном шайбы в условиях зала. Показано, что данная методика позволяет объективно и с достаточной точностью оценить результативность выполнения упражнения. Дополнительно при этом изучены траектории движения различных звеньев тела спортсмена в трех фазах технического действия «бросок шайбы» в условиях зала. Эталонные траектории движения,

разработанные в ходе проведения исследования, могут быть использованы в дальнейшем в качестве моделей технической подготовленности спортсменов.

Разработанный в статье инструментарий может быть полезен специалистам в области спортивной подготовки для создания новых методик тренировок высококвалифицированных спортсменов.

Список литературы

1. Национальная программа спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» / В.А. Третьяк, Р.Б. Ротенберг, П.В. Буре и др. – М., 2019. – 234 с.
2. Савин, В.П. Удары и броски шайбы как средства поражения ворот противника: метод. разработка для слушателей ВШТ, ФПК и студентов академии / В.П. Савин. – М., 1993. – 29 с.
3. Физическая подготовка хоккеистов с использованием технических средств: учеб.-метод. пособие / В.Н. Коновалов, Д.А. Бернатовичюс, А.И. Табаков и др. – Омск: СибГУФК, 2020. – 188 с.
4. An Intelligent Motion Detection Using OpenCV / S. Mishra, M.V. Verma, N. Akhtar et al. // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)*. – 2022. DOI: 10.32628/IJSRSET22925
5. Computer vision for sports: Current applications and research topics / G. Thomas, R. Gade, Th.B. Moeslund et al. // *Computer Vision and Image Understanding*. – 2017. – Vol. 159. – P. 3–18. DOI: 10.1016/j.cviu.2017.04.011
6. Das Dawn, D. A comprehensive survey of human action recognition with spatio-temporal interest point (STIP) detector / D. Das Dawn, S.H. Shaikh // *The Visual Computer*. – 2016. – Vol. 32. – P. 289–306.
7. Hockey activity recognition using pre-trained deep learning model / K. Rangasamy, M.A. As'ari, N.A. Rahmad, N.F. Ghazali // *ICT Express*. – 2020. – Vol. 6 (3). – P. 170–174.
8. Host, K. An overview of Human Action Recognition in sports based on Computer Vision / K. Host, M. Ivašić-Kos // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8, iss. 6. – P. e09633. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09633
9. Tensorflow: a system for large-scale machine learning / M. Abadi, P. Barham, J. Chen et al. // *In Osd*. – 2016. – Vol. 16. – P. 265–283.

References

1. Tret'yak V.A., Rotenberg R.B., Bure P.V. et al. *Nacional'naya programma sportivnoy podgotovki po vidu sporta "hokkey"* [National Sports Training Program for the Sport Hockey]. Moscow, 2019. 234 p.
2. Savin V.P. *Udary i broski shayby kak sredstva porazheniya vorot protivnika: metod. razrab. dlya slushateley VSHT, FPK i studentov Akademii* [Hitting and Throwing the Puck as a Means of Hitting the Opponent's Goal. A Method. Developer for Students of HST, FPK and Academy Students]. Moscow, 1993. 29 p.
3. Kononov V.N., Bernatavichyus D.A., Tabakov A.I. et al. *Fizicheskaya podgotovka hokkeistov s ispol'zovaniem tekhnicheskikh sredstv: uchebno-metod. posobie* [Physical Training of Hockey Players Using Technical Means. Educational Method. Allowance]. Omsk, SibGUFK Publ., 2020. 188 p.
4. Mishra S., Verma M.V., Akhtar N. et al. An Intelligent Motion Detection Using OpenCV. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)*, 2022. DOI: 10.32628/IJSRSET22925
5. Thomas G., Gade R., Moeslund Th.B. et al. Computer Vision for Sports: Current Applications and Research Topics. *Computer Vision and Image Understanding*, 2017, vol. 159, pp. 3–18. DOI: 10.1016/j.cviu.2017.04.011
6. Das Dawn D., Shaikh S.H. A Comprehensive Survey of Human Action Recognition with Spatio-Temporal Interest Point (STIP) Detector. *The Visual Computer*, 2016, vol. 32, pp. 289–306. DOI: 10.1007/s00371-015-1066-2
7. Rangasamy K., As'ari M.A., Rahmad N.A., Ghazali N.F. Hockey Activity Recognition Using Pre-trained Deep Learning Model. *ICT Express*, 2020, vol. 6 (3), pp. 170–174. DOI: 10.1016/j.icte.2020.04.013

8. Host K., Ivašić-Kos M. An Overview of Human Action Recognition in Sports Based on Computer Vision. *Heliyon*, 2022, vol. 8, iss. 6, e09633. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09633

9. Abadi M., Barham P., Chen J. et al. Tensorflow: a System for Large-scale Machine Learning. *In Osd*, 2016, vol. 16, pp. 265–283.

Информация об авторах

Новикова Ирина Игоревна, доктор медицинских наук, профессор, директор, Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Новосибирск, Россия.

Коновалов Василий Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, тренер высшей квалификационной категории, мастер спорта СССР, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия.

Бернатовичюс Дмитрий Антанасович, мастер спорта международного класса по хоккею, тренер высшей квалификации, руководитель высшей школы тренеров по хоккею, директор СДЮСАШОР А. В. Кожевникова, Омск, Россия.

Веремчук Наталья Сергеевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры цифровых технологий, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия.

Семенихина Мария Вячеславовна, младший научный сотрудник, Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Новосибирск, Россия.

Information about the authors

Irina I. Novikova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Novosibirsk, Russia.

Vasily N. Konovalov, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Coach of the Highest Qualification Category, Master of Sport of the USSR, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia.

Dmitry A. Bernatavicius, Master of Sport of International Class in hockey, Highly Qualified Coach, Head of the Higher School of Hockey Coaches, Head of the A.V. Kozhevnikov Specialized Children and Youth Adaptive Sports School of the Olympic Reserve, Omsk, Russia.

Natalia S. Veremchuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Digital technologies, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia.

Maria V. Semenikhina, Junior Researcher, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Novosibirsk, Russia.

Вклад авторов:

Новикова И.И. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Коновалов В.Н. – написание исходного текста; разработка методологии; планирование и проведение эксперимента; итоговые выводы.

Бернатовичюс Д.А. – разработка методологии; планирование и проведение эксперимента; итоговые выводы.

Веремчук Н.С. – обработка результатов эксперимента; подготовка иллюстративного материала.

Семенихина М.В. – обработка результатов эксперимента.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Irina I. Novikova – scientific supervision, research concept, final conclusions.

Vasily N. Konovalov – writing the draft, methodology development, research planning, experiment, and final conclusions.

Dmitry A. Bernatavicius – methodology development, research planning, experiment, and final conclusions.

Natalia S. Veremchuk – data processing, infographics.

Maria V. Semenikhina – data processing.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16.03.2024

The article was submitted 16.03.2024