

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТСМЕНОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА

В.Ю. Куимов¹, Vadim.Cuimow@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7658-790X>
А.И. Чикуров¹, chikurov71@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1073-3120>
А.Д. Бурмистров¹, burmistrovandre@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5019-5326>
В.В. Епишев², epishevwww@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7284-7388>

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: сравнение трех систем активного выявления (захвата) и анализа движений для определения наиболее информативного средства биомеханических и кинематических характеристик спортсменов циклических видов спорта. **Материалы и методы.** Для достижения цели были изучены показатели трёх методов исследования: анализ движений спортсменов по системе Vicon motion capture (Nexus 2.0); анализ пространственно-временных характеристик ходьбы по системе Mobility Lab; анализ движений спортсменов по системе Xsense MVN Link. Во время работы с каждой системой было задействовано 4 конькобежца с квалификацией 1-го спортивного разряда. Участники выполняли ходьбу по прямой платформе и специальное техническое упражнение «прыжковая имитация». Работа с оборудованием для анализа движений осуществлялась в ОМЦ ФМБА России по СФО г. Красноярск. **Результаты.** Исследование способствовало изучению основных особенностей современного оборудования при оценке биомеханических и кинематических характеристик конькобежцев первого разряда. В результате исследования удалось определить ключевые особенности программного обеспечения оборудования 3-х систем захвата движения. **Заключение.** Сравнительный анализ трех систем оборудования в процессе анализа, интерпретации, скорости обработки биомеханических и кинематических показателей спортсменов позволил выделить наиболее подходящее оборудование для применения в условиях, характеризующих специально-техническое двигательное действие. Исходя из анализа, мы пришли к заключению, что инерционная система захвата движений Xsense MVN Link является более перспективным инструментом исследования в области изучения кинематических и биомеханических показателей в циклических видах спорта.

Ключевые слова: конькобежный спорт, биомеханика, кинематика, захват движения, система Vicon motion (Nexus 2.0), система Mobility Lab, система Xsense MVN Link

Для цитирования: Сравнительная характеристика оборудования при измерении биомеханических и кинематических характеристик спортсменов в циклических видах спорта / В.Ю. Куимов, А.И. Чикуров, А.Д. Бурмистров, В.В. Епишев // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 2. С. 165–172. DOI: 10.14529/hsm230220

COMPARISON OF THE EQUIPMENT FOR MEASURING BIOMECHANIC AND KINEMATIC CHARACTERISTICS OF ATHLETES IN CYCLIC SPORTS

V.Yu. Kuimov¹, Vadim.Cuimow@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7658-790X>
A.I. Chikurov¹, chikurov71@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1073-3120>
A.D. Burmistrov¹, burmistrovandre@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5019-5326>
V.V. Epishev², epishevvv@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7284-7388>

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. The aim of the study is to compare three motion capture systems to determine the most informative equipment for the measurement of biomechanical and kinematic characteristics in cyclic sports. **Materials and methods.** The parameters of three motion capture systems were analyzed, namely the Vicon motion capture system (Nexus 2.0), the Mobility Lab system, and the Xsense MVN Link system. Each system was used to analyze movement patterns of four highly skilled skaters. Participants performed walking on a straight platform and the jumping simulation exercise. The motion capture systems were located at the Medical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Krasnoyarsk). **Results.** The research contributed to the study of the main features of modern equipment for the measurement of biomechanical and kinematic characteristics of highly skilled skaters. As a result of the study, the key features of the software of three motion capture systems were identified. **Conclusion.** A comparison of three systems in terms of analysis, interpretation, and processing of biomechanical and kinematic data of athletes allowed for the identification of the most suitable equipment for capturing special motor actions. It was concluded that the Xsense MVN Link motion capture system was the most promising tool for measuring kinematic and biomechanical characteristics in cyclic sports.

Keywords: speed skating, biomechanics, kinematics, motion capture, Vicon motion system (Nexus 2.0), Mobility Lab system, Xsense MVN Link system

For citation: Kuimov V.Yu., Chikurov A.I., Burmistrov A.D., Epishev V.V. Comparison of the equipment for measuring biomechanic and kinematic characteristics of athletes in cyclic sports. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(2):165–172. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230220

Введение. Традиционные методы захвата движения в основном расширены на основе оптических свойств и используются для управления виртуальной моделью персонажа. Распространенными оптическими системами являются Vicon и BTS [3, 6]. Такие системы, как правило, могут обеспечивать высокую точность, но их цена относительно высока для общественного использования. Следовательно, эти системы обычно используются в научно-исследовательских институтах, крупных лабораториях и других организациях. С развитием миниатюрных сенсорных и навигационных технологий стала возможной технология захвата движения на основе датчиков движения.

В циклических видах спорта большое внимание уделяется технической подготовке из-за часто повторяющихся однотипных локомоций, что обуславливает необходимость изучения биомеханических и кинематических характеристик спортсменов.

Существуют различные методы и средства измерения биомеханических и кинематических характеристик спортсменов, но только индивидуальный подход в анализе избранного вида спорта к применению того или иного оборудования позволит сформировать наиболее достоверные результаты.

На сегодняшний день наиболее эффективное оборудование применяется в лабораторных условиях, но оно иногда не способно оценить в полной мере специальные двигательные действия избранного вида спорта, однако наличие оборудования, применяемого в полевых условиях, не всегда корректно интерпретирует показатели биомеханических и кинематических характеристик.

Проблема повышения точности отслеживания процесса движения человека в реальном времени обсуждалась во множестве работ [1, 7]. Методы, предложенные в этих статьях, в некоторой степени решили проблему, но вызывают и другие проблемы, такие как уве-

личение вычислительной сложности. Очевидно, что точность и производительность в реальном времени играют все более важную роль в системах захвата движения.

Цель исследования: сравнение трех систем активного выявления и анализа движений для определения наиболее информативного средства биомеханических и кинематических характеристик спортсменов циклических видов спорта.

Материалы и методы исследования. Для достижения цели анализировались результаты исследования трёх методов: анализ движений спортсменов по системе Vicon motion capture (Nexus 2.0); анализ пространственно-временных характеристик ходьбы по системе Mobility Lab; анализ движений спортсменов по системе Xsense MVN Link.

Во время работы с каждой системой было задействовано 4 конькобежца с квалификацией 1-го спортивного разряда. Работа с оборудованием для анализа движений первых двух систем осуществлялась в ОМЦ ФМБА России по СФО г. Красноярск.

Анализ движений спортсменов по системе Nexus 2. проводился посредством применения системы отслеживания движений с использованием 8 камер (Vicon Bonita B10 с программным обеспечением Nexus 2.2.3; Vicon Motion Systems Ltd), которые записывали траектории 39 отражающих маркеров. Маркеры были прикреплены к поверхности кожи участников гипоаллергенным двусторонним скотчем и были расположены в соответствии с настройкой маркера Plug-In Gait (Vicon Motion Systems Ltd., Оксфорд, Великобритания). Величина погрешности системы Vicon в динамическом задании меньше 2 мм. Участники выполняли ходьбу по прямой платформе и специальное техническое упражнение «прыжковая имитация».

Система Mobility Lab использовалась для анализа пространственно-временных характеристик ходьбы конькобежцев. Данная система способна осуществлять запись данных для анализа походки, баланса тела и постурального колебания. Датчики весом 22 г включают в себя трехосные акселерометры, гироскопы и магнитометры. В ходе исследования использовалась конфигурация с шестью датчиками, которые крепились по одному на уровне лодыжки каждой ноги и запястья руки, а также по одному на голове и в поясничном отделе позвоночника. Данные передавались на ком-

пьютер по беспроводной сети. Показатели автоматически анализировались с помощью соответствующего программного пакета Mobility LabTM.

Третий метод анализа движений осуществлялся с использованием инерционной системы захвата движений Xsense MVN. Система состоит из двух компонентов: программного обеспечения MVN Analyze и аппаратной части – костюма Xsens Link. MVN Analyze. Xsens Link состоит из лайкрового костюма, в специальных отделениях которого помещаются 17 беспроводных трекеров, способных регистрировать как едва заметные, так и высоко динамичные движения. Так же, как и с системой Vicon motion capture (Nexus 2.0), участники выполняли ходьбу по прямой и специальное техническое упражнение «прыжковая имитация».

Результаты исследования. Принцип моделей захвата движения аналогичен навигации в инерциальных навигационных системах, ключевой частью которых является решение ориентации.

H. Zhou, H. Hu в исследовании отмечают, что трехмерный захват движения с помощью системы Vicon Motion известен как наиболее достоверный в оценке биомеханических и кинематических показателей [8].

Ряд специалистов – J. Garcia-Rubio et al., D. Oh, W. Lim, в том числе врачей и физиотерапевтов, тренеров и спортсменов – смогли оказать объективную помощь, основанную на результатах анализа движений, так как угол наклона сустава и использование достоверных и надежных инструментов в измерении угла сустава имеют решающее значение. Измерение угла наклона сустава отражает индекс изменения спортивных биомеханических показателей или значение результатов оценки для терапевтических вмешательств во время реабилитационных программ [3–5].

Для достижения точности и достоверности результата перед применением требуется высокочастотная калибровка системы 3D Vicon motion capture с помощью высококвалифицированных и хорошо обученных специалистов [4].

В результате работы с Vicon Motion capture (Nexus 2) был получен большой объем пространственно-временных и кинематических данных. Запись движений с 8 камер позволяет в программном обеспечении выстроить компьютерную модель испытуемого



Рис. 1. Расположение нательных датчиков системы Vicon Motion capture
Fig. 1. Placement of wearable sensors (Vicon Motion capture system)

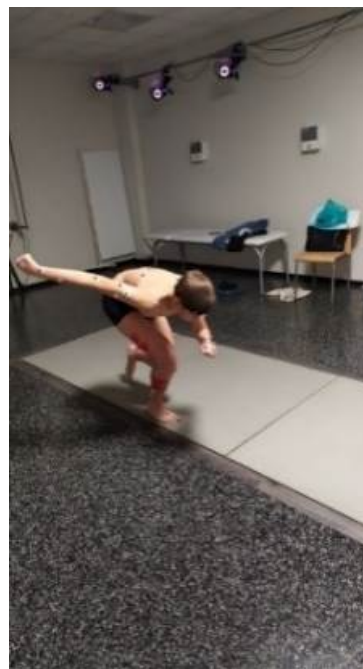


Рис. 2. Выполнение специального упражнения «прыжковая имитация»
Fig. 2. Jumping simulation exercise

и рассмотреть ее с разных сторон в трехмерном пространстве.

В процессе выполнения двигательного действия 39 маркеров Vicon Motion Systems записывали движения каждого сегмента тела, а также углы сгибания и разгибания сочленений верхних и нижних конечностей (рис. 1). В исследовании мы применили метод оценки смещения центра массы тела в начальном крайнем положении фазы при двухопорном отталкивании, а именно измерялся градус отклонения центра массы тела спортсмена из перпендикулярного положения, в котором он находился в фазе одноопорного отталкивания при выполнении специального упражнения «прыжковая имитация» (рис. 2) [2].

В ходе анализа полученных данных мы получили показатели углов систематического выполнения конькобежцами поворота в левую сторону.

Исследование показало, что у спортсменов выявляется подавляющая левосторонняя ориентированность в простых двигательных локомоциях (ходьба) и в специальных технических упражнениях [2].

Система Mobility Lab предоставляет простой интерфейс для ввода и редактирования метаданных, просмотра ваших записей, создания отчетов и многого другого.

Изучение и анализ данных с помощью Mobility Lab показал, что система включает: 15 пространственно-временных показателей нижних конечностей испытуемого во время ходьбы; 2 показателя верхних конечностей (скорость качения, диапазон движения); 3 показателя в поясничном отделе позвоночника (диапазон движения в 3 плоскостях); 3 показателя головы (диапазон движения в 3 плоскостях). Система имеет возможность указать на наличие асимметрии нижних конечностей в процентном соотношении на этапе обработки первичных данных. Также программный пакет Mobility LabTM соотносит показатели ходьбы испытуемого с параметрами показателей стандарта ходьбы, что позволяет сразу обнаружить отклонение от границ нормы непосредственно после завершения выполнения двигательного действия.

Система оборудования Mobility LabTM имеет широкополосную линейку кинематических показателей походки, что указывает на ограничения специфических движений применительно к виду спорта. Особое место данной модели программного обеспечения занимает простой для восприятия интерфейс при интерпретации показателей. Процесс обработки данных занимает небольшое количество времени в исследовании – это позволяет

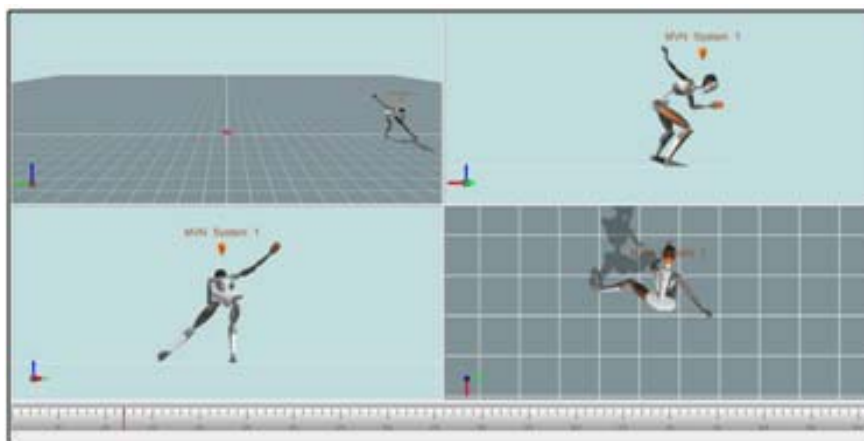


Рис. 3. Запись выполнения двигательного действия в 4 плоскостях одновременно (оборудование MVN Analyze)

Fig. 3. Simultaneous recording of a motor action in 4 planes (Xsense MVN Link system)

Сравнительная характеристика систем и программного обеспечения захвата движения
Comparison of motion capture systems and software

Критерии оценки Parameter	Vicon motion Nexus 2.0	Mobility Lab	Xsense MVN Link
Доступность в приобретении Price and availability	–	+	+
Мобильность применения (сфера деятельности) Mobility of application (field of activity)	+	–	+
Визуализация модели (человека, спортсмена) в 3D пространстве Quality of 3D visualization (human, athlete)	+	–	+
Объемный спектр угловых кинематических показателей Volumetric spectrum of angular kinematic patterns	+	–	–
Объемный спектр механических показателей (сила, мощность) Volume spectrum of mechanical parameters (strength, power)	+	–	–
Объемный спектр линейных кинематических показателей Volume spectrum of linear kinematic indicators	+	+	+
Применение оборудования в условиях, конкретизирующих специально-подобранные двигательные действия избранного вида спорта Ease of use in special conditions of selected motor patterns typical of selected sports	–	–	+
Применение с участием различных локомоций Ease of use for different motions	+	–	+
Небольшое количество времени при калибровке и установке оборудования Time required for calibration and installation	–	+	+
Показатели в пределах нормы запрограммированы в системе, относительно избираемых параметров Pre-determined reference values for selected parameters	+	–	+
Высокая скорость обработки данных High processing speed	–	+	+
Простой и удобный интерфейс при интерпретации результатов Simple and user-friendly interface for data interpretation	–	+	+

произвести корректировки, если показатели были сняты с ошибками. Изменение походки визуально не отображается на экране монитора и радиус действия автономных датчиков Opal с адаптером ограничен пространством в районе 30 м.

Механизм системы Xsense основан на измерениях показателей человеческого тела с помощью инерционных датчиков, биомеханических моделей и алгоритмов синтеза датчиков, это идеальное средство для измерения кинематики движений человека в лабораторных условиях и за её пределами.

Итоги работы с системой Xsense показали схожие результаты с Nexus, операционная программа MVN Analyze обрабатывает полученные данные с датчиков и выстраивает 3D-модель спортсменов, позволяющую рассмотреть двигательные действия испытуемых в различных плоскостях (рис. 3). В отличие от Nexus, данное программное обеспечение производит модель человека в режиме реального времени и позволяет записывать выполнение двигательного действия для дальнейшего анализа.

Аналитическая работа с данными, полученными при помощи трёх систем анализа движений, показывает, что Vicon Motion (Nexus 2.0) и Xsense MVN Link имеют больше сходства, в отличие от MobilityL (см. таблицу). Система Mobility Lab с ее программным обеспечением в большей степени направлена на получение данных исключительно тех локомоций, которые находятся в программе, в то время как отклонение от знакомых программ движений ведет к сбою, нарушению анализа движения и отсутствию выходных данных.

Система Vicon Motion (Nexus 2.0), напротив, предоставляет возможность провести глубокий анализ отдельного движения в рамках двигательного действия. Программное обеспечение не ориентировано на конкретное действие, что позволяет исследовать не только

ходьбу, но и специфические действия, такие как специальные технические упражнения. Данный факт расширяет область применения системы Vicon Motion (Nexus 2.0) для изучения кинематических и биомеханических характеристик в спорте, однако использование данного оборудования ограничено пространством лаборатории, в которой установлены камеры, отслеживающие нательные датчики.

Система Xsense MVN Link включает преимущества двух вышеописанных систем. Возможность получения данных с датчиков в понятном визуальном формате непосредственно в процессе выполнения двигательного действия испытуемого позволяет скорректировать ход исследования и уменьшить вероятность ошибочных результатов в исследованиях. Отсутствие привязанности к лаборатории значительно расширяет перечень двигательных действий для изучения, а возможность датчиков записывать движения независимо от присутствия оборудования для приема данных позволяет изучать двигательные действия в соревновательном режиме и получать данные, максимально приближенные к реальным условиям.

Заключение. Сравнительный анализ трех систем оборудования в процессе аналитической и практической части исследования кинематических и биомеханических показателей позволил выделить достоинства и недостатки в интерпретации результатов, материально-техническом обеспечении, визуализации данных моделей во время использования. Все полученные данные в процессе изучения обуславливают выбор наиболее эффективного оборудования для дальнейших исследований в области кинематики и биомеханики спорта. Исходя из этого, мы пришли к заключению, что инерционная система захвата движений Xsense MVN Link является более перспективным инструментом исследования в области изучения кинематических и биомеханических показателей в циклических видах спорта.

Список литературы

1. Скворцов Д.В. Методика исследования кинематики движений и современные стандарты. Видеоанализ / Д.В. Скворцов // *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. – 2012. – № 12. – С. 4–10.
2. Функциональная асимметрия конькобежцев высокой квалификации / А.Д. Бурмистров, А.И. Чукуров, С.С. Худик, С.В. Радаева // *Вестник Томского гос. ун-та*. – 2018. – № 434. – С. 143–148.
3. Garcia-Rubio, J. *Validity and Reliability of the WIMUTM Inertial Device for the Assessment of Joint Angulations* / J. Garcia-Rubio, P.R. Olivares, S.J. Ibanez // *International Journal Environmental Research Public Health*. – 2019. – Vol. 17.

4. Lim, W. Tensile Force Transmission from the Upper Trunk to the Contralateral Lower Leg throughout the Posterior Oblique Sling System / W. Lim // *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*. – 2021. – Vol. 9. – P. 294–300.

5. Oh, D. Concurrent Validity and Intra-Trial Reliability of a Bluetooth-Embedded Inertial Measurement Unit for Real-Time Joint Range of Motion / D. Oh, W. Lim, N. Lee // *International Journal Computer Science Sport*. – 2019. – Vol. 18. – P. 1–11.

6. Reliability and accuracy of a goniometer mobile device application for video measurement of the functional movement screen deep squat test / D.A. Krause, M.S. Boyd, A.N. Hager et al. // *International Journal Sports Physical Therapy*. – 2015. – Vol. 10. – P. 37–44.

7. Senesh, M. Motion estimation using point cluster method and Kalman filter / M. Senesh, A. Wolf // *Journal of Biomechanical Engineering*. – 2009. – Vol. 131. – P. 1–7.

8. Zhou H. Human motion tracking for rehabilitation—A survey / H. Zhou, H. Hu // *Biomedical Signal Processing and Control*. – 2008. – Vol. 3. – P. 1–18.

References

1. Skvortsov D.V. [Methods of Motion Kinematics Research and Modern Standards. Video Analysis]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina* [Physical Therapy and Sports Medicine], 2012, vol. 12, pp. 4–10. (in Russ.)

2. Burmistrov A.D., Chikurov A.I., Khudik C.S., Radaeva S.V., [Functional Asymmetry of Highly Qualified Skaters]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2018, vol. 434, pp. 143–148. (in Russ.) DOI: 10.17223/15617793/434/19

3. Garcia-Rubio J., Olivares P.R., Ibanez S.J. Validity and Reliability of the WIMUTM Inertial Device for the Assessment of Joint Angulations. *International Journal Environmental Research Public Health*, 2019, vol. 17. DOI: 10.3390/ijerph17010193

4. Lim W. Tensile Force Transmission from the Upper Trunk to the Contralateral Lower Leg throughout the Posterior Oblique Sling System. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 2021, vol. 9, pp. 294–300. DOI: 10.13189/saj.2021.090217

5. Oh D., Lim W., Lee N. Concurrent Validity and Intra-Trial Reliability of a Bluetooth-Embedded Inertial Measurement Unit for Real-Time Joint Range of Motion. *International Journal Computer Science Sport*, 2019, vol. 18, pp. 1–11. DOI: 10.2478/ijcss-2019-0015

6. Krause D.A., Boyd M.S., Hager A.N. et al. Reliability and Accuracy of a Goniometer Mobile Device Application for Video Measurement of the Functional Movement Screen Deep Squat Test. *International Journal Sports Physical Therapy*, 2015, vol. 10, pp. 37–44.

7. Senesh M., Wolf A. Motion Estimation Using Point Cluster Method and Kalman Filter. *Journal of Biomechanical Engineering*, 2009, vol. 131 (5), pp. 1–7. DOI: 10.1115/1.3116153

8. Zhou H., Hu H. Human Motion Tracking for Rehabilitation – A Survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2008, vol. 3, pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.bspc.2007.09.001

Информация об авторах

Куимов Вадим Юрьевич, магистрант кафедры теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма института физической культуры, спорта и туризма, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Чикуров Александр Игнатович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма института физической культуры, спорта и туризма, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Бурмистров Андрей Денисович, аспирант кафедры теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма института физической культуры, спорта и туризма, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Епишев Виталий Викторович, кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Vadim Yu. Kuimov, Master's Student, Department of Theoretical Foundations and Management of Physical Education and Tourism, Institute of Physical Education, Sports and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Alexander I. Chikurov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Foundations and Management of Physical Education and Tourism, Institute of Physical Education, Sports and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Andrey D. Burmistrov, Postgraduate Student, Department of Theoretical Foundations and Management of Physical Education and Tourism, Institute of Physical Education, Sports and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Epishev V. Viktorovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Theory and Methods of Physical Education and Sports, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.03.2023

The article was submitted 24.03.2023