

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ФИЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Е.Ю. ФЕДОРОВА,
А.Д. КОЗЛОВСКИЙ, Г.В. ЛУРЬЕ,
ГАОУ ВО МГПУ, г. Москва**

Аннотация

Цель исследования – обобщить опыт внедрения виртуальной реальности (VR) в качестве инструмента обучения для улучшения навыков спортсменов и преодоления недостатков традиционных методов обучения. Был проведен систематический поиск в наиболее влиятельных научных базах данных (Scopus, WoS, Google Scholar) за период с 2010 по 2022 г. в соответствии с блок-схемой PRISMA. Из 995 найденных статей было отобрано 30 полнотекстовых оригинальных публикаций, соответствующих нашим критериям включения в обзор. Анализируемые публикации посвящены исследованию VR на примере различных видов спорта (командно-игровых, игровых, индивидуальных, экстремальных, циклических), а также междисциплинарным исследованиям без привязки к конкретному виду спорта для решения задач, связанных с обучением и развитием двигательных навыков, физической подготовкой, психологической подготовкой, анализом и коррекцией движений, сравнением VR и реальных условий, а также разработкой и тестированием систем. В результате исследования отмечен значительный рост применения VR в физкультурно-спортивной деятельности, при этом наиболее популярным методом внедрения VR является использование шлема виртуальной реальности (HMD) в сочетании с системой захвата движения. Анализ научных публикаций подтверждает потенциал VR как инструмента для повышения мотивации к систематическим занятиям двигательной активностью, но для широкого внедрения требуется решение ряда задач: повышение точности систем захвата движения, разработка легких и эргономичных HMD, а также стандартизация методик оценки эффективности VR-тренировок.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, VR-технологии, виртуальная реальность, физкультурно-спортивная деятельность, спортивная подготовка, учебно-тренировочные занятия.

INTRODUCTION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS ACTIVITIES: A SYSTEMATIC REVIEW OF FOREIGN LITERATURE

**E.Yu. FEDOROVА,
A.D. KOZLOVSKIY, G.V. LURYE,
MCU, Moscow city**

Abstract

The purpose of the study was to summarize the experience of introducing virtual reality as a learning tool to improve athletes' skills and overcome the disadvantages of the traditional teaching method. Research methods and organization: a systematic search was conducted in the most influential scientific databases (Scopus, WoS, Google Scholar) for the period from 2010 to 2022 in accordance with the PRISMA flowchart. Of the 995 articles found, 30 full-text original publications were selected that met our criteria for inclusion in the review. The analyzed publications were devoted to the study of VR using the example of team-playing, gaming, individual, extreme, cyclical sports, as well as interdisciplinary research without reference to a specific sport to solve problems related to learning and developing motor skills, physical fitness, psychological training, as well as the analysis and correction of movements, comparing VR and real conditions and development and testing of systems. As a result of the analysis of scientific publications, a significant increase in the use of VR in physical education and sports activities has been noted, while the most popular method of introducing VR was the use of a virtual reality helmet (HMD) in combination with a motion capture system. The results of the study confirm the potential of VR as a tool to increase motivation for systematic exercise, but widespread adoption requires solving a number of tasks: improving the accuracy of motion capture systems, developing lightweight and ergonomic HMDs, as well as standardizing methods for evaluating the effectiveness of VR training.

Keywords: information and communication technologies, VR technologies, virtual reality, physical education and sports activities, sports training, educational and training sessions.

Введение

Информационно-коммуникационные технологии (**ИКТ**) в физическом воспитании могут стать альтернативой для преодоления нехватки помещений и расширения арсенала педагогических технологий в организациях, реализующих программы физкультурно-спортивной направленности. Различные методы использования ИКТ – интернет, программное обеспечение и программы моделирования – могут предоставить возможности для получения разнообразного опыта, преодолевая ограничения пространства и времени [15]. **Виртуальная реальность (VR)** – одна из технологий, способных преодолеть это ограничение, предоставляя численное моделирование и захватывающую интерактивную среду [4]. Однако нам ещё предстоит выяснить, может ли внедрение VR развивать навыки, и насколько эффективна VR по сравнению с другими методами, используемыми в физкультурно-спортивной деятельности [23].

В широком смысле VR определяется как среда, в которой пользователи могут погружаться и реагировать на искусственную стимуляцию естественным образом [6, 16]. VR также может перенести пользователей в среду, которая обычно недоступна из-за высокой стоимости оборудования и невозможности обеспечить безопасность при его использовании, а также других препятствий [7]. За последние несколько лет функции и преимущества технологий VR существенно повлияли на повышение качества многих аспектов повседневной жизни [1].

Технологии виртуальной реальности используются для решения широкого спектра задач в физкультурно-спортивной деятельности, в частности для обучения и совершенствования двигательных действий, тактической подготовки и др. [1]. Тренирующие воздействия являются одним из многих примеров функций технологий виртуальной реальности в сфере физической культуры и спорта (ФКиС). Технологии VR в последнее десятилетие стали чаще использоваться в физкультурной и спортивной практике, помогая пользователям анализировать и улучшать свои результаты в выбранных видах спорта [5, 29]. Применение таких технологий в физическом воспитании также эффективно устраняет недостатки традиционных методов тренировок и привносит больше инноваций, делая их более интерактивными [26, 27], а также оказывают влияние на повышение двигательной активности пользователей. Играя и тренируясь одновременно, пользователи могут улучшить своё здоровье и физическую форму, а также получить удовольствие от процесса [11, 17]. VR-технологии применяются в таких видах спорта, как футбол, баскетбол, настольный теннис и др.

VR-технологии могут быть реализованы различными способами в физкультурно-спортивной деятельности, например, с помощью устройств с **головным дисплеем (HMD)** [2, 4, 8, 14], систем отслеживания положения головы [8] и **видеоигр на основе движения (MBVG)**. Технология VR, реализованная через MBVG, также может быть способом изучения базовых технико-тактических действий для овладения основами вида спорта [1, 12].

Однако, прежде чем внедрять VR в учебно-тренировочную деятельность спортсменов, необходимо обеспечить соответствующую доказательную базу. Была проведена полномасштабная симуляция футбольного матча в виртуальной реальности и определена оценка эффективности на основе трёх пунктов: оценки виртуальной среды (VEA), чувства присутствия (IPQ), а также корреляции VEA и присутствия в VR [22].

Исследование [20] показало, что метод демонстрации видео с упражнениями с основного монитора можно переносить, но он не поддаётся обобщению. Напротив, видео, представленное с использованием VR, привело к более глубокому пониманию и обобщению процесса принятия решений. Использование VR в качестве персонального тренера по баскетболу способствовало повышению эффективности тактических тренировок [24], а также снижению риска травм на учебно-тренировочных занятиях в естественной среде.

В то же время использование VR также помогает уменьшить боль у травмированных спортсменов, улучшить их здоровье и поддерживать результаты на должном уровне [19]. Синхронная работа устройств HMD, движка анимации **Manageable Kinematic Motion (МКМ)** и системы захвата движения может быть полезна для захвата движений пользователям и спортсменам, а также для проведения анализа каждой группы пользователей и спортсменов, чтобы тренеры могли дать им более точные рекомендации по принятию решений [4]. Применение VR в учебно-тренировочном процессе каратистов доказало свою эффективность [21], но, как мы полагаем, для получения достоверно значимого воздействия требуется дополнительные исследования с большей выборкой спортсменов.

В другом исследовании, посвящённом бейсболу, VR также эффективно используется для совершенствования восприятия движения при беге и ловле мяча у игроков-аутфилдеров [28]. Также доказано, что и в регби VR может быть использован в процессе обучения броску в линию при использовании метода цветного анаглифа (метод получения стереоэффекта – 3D) и модели принятия технологий (ТАМ), что привело к повышению эффективности [9]. Ряд исследований [30] также подтверждает возможность применения VR-технологии в тренировках по плаванию, однако положительного воздействия на время прохождения дистанции при упражнениях по гребле не отмечено, так как всем участникам исследования было предписано сосредоточиться на технике гребли, а не на времени [3].

Для людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) технологии VR могут использоваться как в адаптивной физической культуре и адаптивном спорте, так и в реабилитации [13], благодаря чему они могут испытать виртуальный опыт, схожий с реальным миром.

Технология VR также может использоваться для обеспечения различных учебно-тренировочных занятий путём обнаружения и анализа движений тела, которые преобразуются в виртуальную среду [2]. Кроме того, она может влиять на повышение интереса и готовности

к постоянным тренировкам в определенных видах спорта [1, 23].

Несмотря на успех приложений для выполнения упражнений с использованием VR в широком спектре спортивных областей, лишь некоторые из них оказываются эффективными. Например, при использовании симулятора гольфа увеличивается число радиальных ошибок, допускаемых как новичками, так и опытными игроками, а корреляция между результатами в реальном мире и VR остается лишь умеренной [10]. То же самое наблюдалось, когда применение VR оказалось неэффективным для тренировки вратаря в гандболе [1], поскольку вратарю требовалось больше информации, чтобы точно предсказать траекторию мяча.

Сочетание цифровых и классических технологий при совершенствовании двигательных навыков, развиваемых с помощью VR-технологии, предположительно применимо в физкультурно-спортивной деятельности, но на данном этапе технологического развития VR вряд ли станет эффективным средством подготовки профессиональных спортсменов [18].

Материал и методы исследования

В данном исследовании проводится систематический обзор литературы с использованием рекомендованных элементов отчетности для систематических обзоров и метаанализов (PRISMA), как показано на рис. 1. На блок-схеме указаны все 30 исследовательских работ, использованных для данного обзора литературы, от этапа идентификации до этапа включения.

В процессе идентификации авторы собрали 995 соответствующих статей по теме в наиболее влиятельных научных базах данных (Scopus, WoS, Google Scholar). Для ускорения процесса идентификации ими были использованы следующие ключевые слова: [“virtual reality” OR “virtual environment” OR “interactive training” OR

(“virtual” AND “reality”) OR (“virtual” AND “environment”) OR (“interactive” AND “training”)] AND [“motion capture system” OR (“motion” AND “capture” AND “system”)] AND [“sports education” OR “sports skill improvement” OR (“sport” AND “education”) OR (“sport” AND “skill” AND “improvement”)]. Все статьи, включенные в качественный синтез, используются авторами в качестве ссылок для построения данного обзора.

Анализируемые публикации посвящены исследованию VR на примере командно-игровых видов спорта (баскетбол [6, 20, 24], футбол [8, 16, 22], регби [9]), индивидуальных видов (теннис [16], настольный теннис [18], гольф, карате [21], скалолазание [12], плавание [30], гребля [3], элементы тай-чи [11], жонглирование [1]), а также междисциплинарных исследований без привязки к конкретному виду спорта [2, 5, 13, 14, 15, 19, 23, 26, 27, 29] для решения задач, связанных с обучением и развитием двигательных навыков [1, 7, 14, 20, 24, 26], физической подготовкой [2, 13, 15, 19], психологической подготовкой [8, 14, 20, 22], а также анализом и коррекцией движений [5, 11, 26], сравнением VR и реальных условий [12, 16, 25, 28] и разработкой и тестированием систем [5, 7, 17, 24, 30].

Поскольку целью систематического обзора было узнать больше об эффективности и возможностях виртуальной реальности как инструмента учебно-тренировочного процесса, авторами были сформулированы три исследовательских вопроса:

Вопрос 1. Как технологии виртуальной реальности используются для совершенствования спортивных навыков?

Вопрос 2. Что необходимо улучшить и предоставить для повышения точности системы захвата движений человека?

Вопрос 3. Насколько эффективно внедрение технологий виртуальной реальности в процесс совершенствования спортивных навыков?

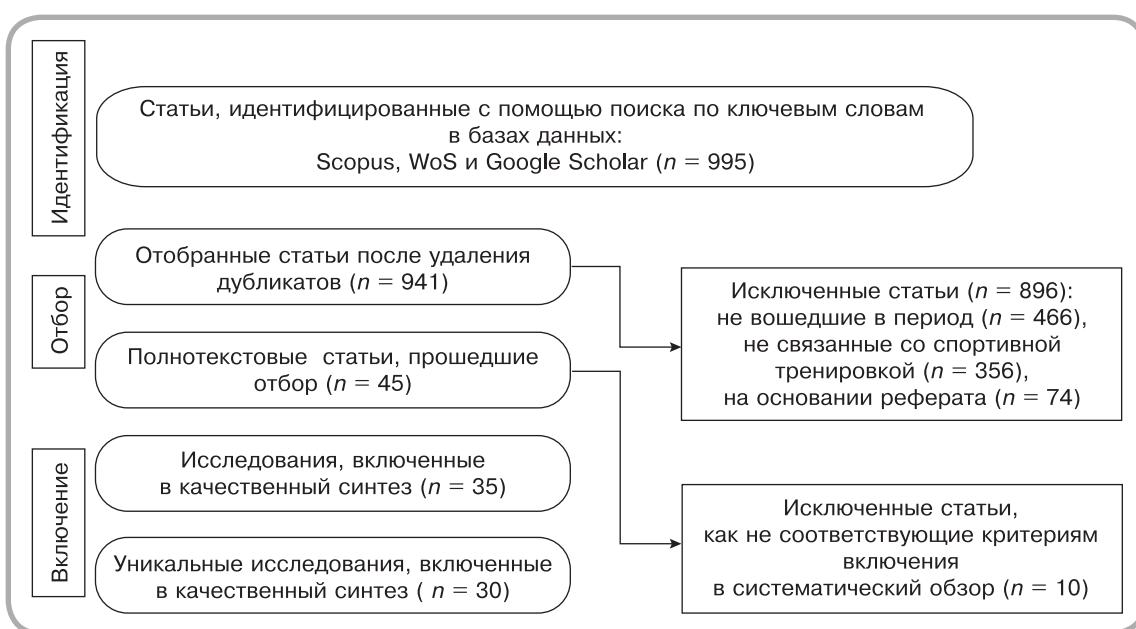


Рис. 1. Блок-схема PRISMA

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно исследованию с использованием поиска по ключевым словам: "Sports education", "Sports skills development", "Interactive learning", "Motion capture system" и "Virtual environment", из числа найденных публикаций, после оценки на соответствие критериям, были отобраны 30 статей в связи с их релевантностью и применимостью к нашей теме. Далее проводился анализ именно этих статей в соответствии с ранее поставленными исследовательскими вопросами.

Как технологии виртуальной реальности используются для совершенствования спортивных навыков?

Изучив 30 научных статей, авторы обнаружили, что системы захвата движения используются для улучшения индивидуальных результатов спортсменов и достаточно

эффективны для тренеров и команд при разработке лучшей стратегии или тактики [4, 7, 12, 25, 28]. Другой подход к использованию технологий компьютерной VR в физкультурно-спортивной деятельности заключается в проведении сравнительного анализа [29], что помогает занимающимся всесторонне анализировать выполняемые ими движения. Технология VR также может стать идеальным инструментом для людей с ограниченными возможностями здоровья, позволяя им получить представление о конкретном виде спорта, а также персонализировать нагрузки оздоровительных занятий, исходя из уровня функционального состояния занимающихся [13, 19]. В исследованиях, освещенных в пяти статьях, использовались анализаторы движения, системы захвата движения и алгоритмы отслеживания движения для сбора данных, необходимых для достижения результата (табл. 1).

Таблица 1

Системы захвата движения, используемые в приложениях виртуальной реальности в физкультурно-спортивной деятельности

Алгоритм VR	Источник
Технология VR на фоне развития сенсорных технологий	[29]
Устройство захвата движения с последующим подключением к шлему VR (HMD) с ультразвуковой системой слежения или к шлему Cave с электромагнитной или оптоэлектронной системой слежения	[28]
Анимационный движок МКМ для создания виртуальных персонажей и применения технологии VR через шлем виртуальной реальности и систему захвата движения для захвата движений игроков	[4]
Архитектура системы, включающая 3D-графику, анализатор движения и систему захвата движения с использованием сэмплирования и оценки пути (реализация на Matlab)	[7]
Использование Xbox One в качестве консоли MBVG для игры в Kinect Sports Rivals Rock Climbing и камеры обнаружения движения для отслеживания движений игрока и отображения их в графической форме с помощью экранных аватаров	[12]
Совершенствование равновесия у занимающихся на основе использования технологии VR	[19]
В зависимости от уровня достоверности используются иммерсивные и неиммерсивные технологии VR. Иммерсивная технология использует HMD, большой экран или систему видеозахвата. Неиммерсивная технология использует джойстик, мышь или тактильные устройства	[13]
Система захвата движения и анимационный движок МКМ (Manageable Kinetic Motions) для создания реалистичных визуальных образов персонажей. Полученные результаты сравнивались с базой данных траекторий мяча и базой данных движений при броске. Конечный результат определяется путем расчета процента попадания мяча и радиальной ошибки	[25]

Что необходимо улучшить и предоставить для повышения точности системы захвата движений человека?

В ходе исследования авторы изучили несколько аспектов алгоритма захвата движения. Во-первых, результаты некоторых справочных работ должны учитываться при разработке новых или модернизации существующих VR-приборов, в том числе на основе совершенствования точности работы системы захвата движения. Более подробно изучив факторы, влияющие на точность алгоритма, авторы обнаружили, что на точность систем траектории и захвата движения человека влияют высокопроизводительный вычислительный сервер [24], количество используемых камер и качество каждой камеры, количество маркеров и частота выборки [8, 18, 26]. В каждом исследовании, использующем один и тот же метод или

алгоритм, подробно описывается оборудование или аппаратура, используемая в разных количествах. Помимо различий в оборудовании, исследования не могут быть идентичными, даже если в них используется один и тот же алгоритм.

Например, в работах [5, 7] технология захвата движения используется в анимации, кинопроизводстве или анализе спортивных результатов. Метод был заимствован из магнитной системы захвата и заменен на оптическую, обладающую более высокой точностью и минимальным временем отклика, что крайне важно для обратной связи с пользователями в режиме реального времени. Хотя в других работах [1, 4, 12, 25, 28] используется тот же метод (алгоритм, процесс или логика могут отличаться), что может повлиять на выборку данных и, как следствие, на точность конечных результатов исследования.

Насколько эффективно внедрение технологий виртуальной реальности в процесс совершенствования спортивных навыков?

Эффективность внедрения VR зависит от уровня опыта пользователей [22]. Как известно, виртуальная среда обычно создается путем ношения пользователями VR-шлемов для использования VR-приложений. Во время занятий люди должны иметь возможность свободно выполнять движения конечностями, но использование VR-шлемов, безусловно, затрудняет или ограничивает их движения. Хотя внедрение VR в учебно-тренировочные занятия с использованием системы захвата движения доказало множество преимуществ как для спортсменов, так и для их команд [9, 16, 27, 30], нельзя отрицать, что реальность никогда не может быть заменена технологией виртуальной реальности [20, 21]. Таким образом, проблема повышения эффективности использования VR-шлемов в физкультурно-спортивной деятельности по-прежнему остается актуальной и требующей обсуждения. Например, использование дисперсионного анализа (ANOVA) для оценки радиальных ошибок показало, что результаты выполнения заданий в VR значительно выше [10, 17].

С другой стороны, был проведен 360-градусный тест виртуальной реальности, который выявил несущественные результаты между различными выборками групп [14].

Выводы

В данном исследовании мы ограничились обсуждением эффективности успешного внедрения виртуальной реальности в физкультурно-спортивной деятельности, её преимуществ для пользователей, проблем, возникающих при внедрении, а также возможных путей их решения. Показано, что виртуальная реальность в спорте эффективно работает с системами захвата движения для сбора ценных данных, однако их точность может быть

Однако это препятствие можно устранить, создав конструкцию VR-шлемов с небольшим весом, удобных в использовании во время тренировок и обеспечивающих пользователям широкий доступ к двигательным функциям. Помимо проблем с физическим состоянием, связанных с использованием VR-шлема, тренировки в виртуальной реальности могут быть менее эффективными, если участники часто отвлекаются на виртуальную реальность из-за чрезмерно захватывающих впечатлений. Кроме того, VR-технология может быть непривычной для некоторых людей, поэтому им будет сложнее сохранять концентрацию на занятиях, привыкая к новой технологии [3].

Хотя авторы исследуемых публикаций всё ещё обнаруживают некоторые проблемы во внедрении VR в физкультурно-спортивную деятельность, преимущества, которые могут дать задания в виртуальной реальности, неоспоримы. Иммерсивная виртуальная реальность обладает большими возможностями, чем традиционные подходы. Например, пользователи с ОВЗ могут тренироваться с помощью аватара, что значительно оптимизирует тренировочную сессию [2, 6, 15], и они получат уникальный опыт, который невозможно воспроизвести с помощью традиционной модели. В исследовании авторов [11] рассматривается лучший подход к VR-технологии, где был представлен новый метод, и доказано, что он может превзойти другие известные подходы.

повышена за счет увеличения количества используемых камер, улучшения их качества и частоты дискретизации, что существенно влияет на точность выходных данных. Авторы ряда проанализированных статей предлагают производителям пересмотреть конструкцию шлемов виртуальной реальности, чтобы они стали легче и удобнее, что обеспечит пользователям более широкий диапазон двигательных возможностей.

Литература/References

1. Adolf J., Ka'n P., Outram B., Kaufmann H., Dolez'al J., Lhotska' L. Juggling in VR: Advantages of immersive virtual reality in juggling learning // In: 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2019. – Pp. 1–5.
2. Ali S.F., Noor S., Azmat S.A., Noor A.U., Siddiqui H. Virtual reality as a physical training assistant // In: 2017 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT). – IEEE, 2017. – Pp. 191–196.
3. Arndt S., Perkis A., Voigt-Antons J.N. Using virtual reality and head-mounted displays to increase performance in rowing workouts // In: Proceedings of the 1st international workshop on multimedia content analysis in sports, 2018. – Pp. 45–50.
4. Bideau B., Kulpa R., Vignais N., Brault S., Multon F., Craig C. Virtual reality, a serious game for understanding performance and training players in sport // IEEE Computer Graphic Applications, 2010. – No. 30 (2). – Pp. 14–21.
5. Cannavo` A., Prattico` F.G., Ministeri G., Lamberti F. A movement analysis system based on immersive virtual reality and wearable technology for sport training // In: Proceedings of the 4th international conference on virtual reality, 2018. – Pp. 26–31.
6. Concannon B.J., Esmail S., Roduta R.M. Head-mounted display virtual reality in post-secondary education and skill training // In: Frontiers in Education. Frontiers Media SA, 2019. – Vol. 4 (80). – DOI: 10.3389/feduc.2019.00080
7. Covaci A., Postelnicu C.C., Panfir A.N., Talaba D. A virtual reality simulator for basketball free-throw skills development // In: Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems. – Springer, 2012. – Pp. 105–112.
8. Craig C.M., Bastin J., Montagne G. How information guides movement: Intercepting curved free kicks in soccer // Human Movement Science. – 2011. – No. 30 (5). – Pp. 931–941.

9. Croft H., Chong A., Wilson B. Virtual reality assessment of rugby lineout there through semantic // Sports Technology. – 2011. – No. 4 (1–2). – Pp. 2–12.
10. Harris D.J., Buckingham G., Wilson M.R., Brookes J., Mushtaq F., Mon-Williams M., et al. Exploring sensorimotor performance and user experience within a virtual reality golf simulator // Virtual Reality. – 2021. – No. 25 (3). – Pp. 647–654.
11. Holsman F., Goepfert J.P., Hammer B., Kopp S., Botsch M. Classification of motor errors to provide real-time feedback for sports coaching in virtual reality – A case study in squats and Tai Chi pushes // Computers & Graphics, 2018. – DOI.org/10.1016/j.cag.2018.08.003
12. Jenny S.E., Schary D.P. Virtual and “real-life” wall/rock climbing: Motor movement comparisons and video gaming pedagogical perceptions // Sports Technology, 2015. – DOI.org/10.1080/19346182.2015.1118110
13. Kang S., Kang S. The study on the application of virtual reality in adapted physical education // Cluster Computing. – 2019. – No. 22 (1). – Pp. 2351–2355.
14. Kittel A., Larkin P., Elsworth N., Lindsay R., Spittle M. Effectiveness of 360 virtual reality and match broadcast video to improve decision-making skill // Science and Medicine in Football. – 2020. – No. 4 (4). – Pp. 255–262.
15. Lee H.T., Kim Y.S. The effect of sports VR training for improving human body composition // EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2018. – DOI.org/10.1186/s13640-018-0387-2
16. Le Noury P., Buszard T., Reid M., Farrow D. Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance // Journal of Sports Sciences. – 2021. – No. 39 (4). – Pp. 412–420.
17. Liu H., Wang Z., Mousas C., Kao D. Virtual reality racket sports: Virtual drills for exercise and training // In: 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). – IEEE, 2020. – Pp. 566–576.
18. Michalski S.C., Szpak A., Saredakis D., Ross T.J., Billinghurst M., Loetscher T. Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills // PLOS ONE. – 2019. – No. 14 (9). – P. e0222351. – DOI: 10.1371/journal.pone.0222351
19. Nambi G., Abdelbasset W.K., Elsayed S.H., Alrawaihi S.M., Abodonya A.M., Saleh A.K., Elnegamy T. Comparative effects of isokinetic training and virtual reality training on sports performances in university football players with chronic low back pain-randomized controlled study // evidence-based complementary and alternative medicine, 2020. – DOI: 10.1155/2020/2981273
20. Pagé C., Bernier P.M., Trempe M. Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball // Journal of Sports Sciences. – 2019. – No. 37 (21). – Pp. 2403–2410.
21. Petri K., Emmermacher P., Danneberg M., Masik S., Eckardt F., Weichelt S., et al. Training using virtual reality improves response behavior in karate kumite // Sports Engineering. – 2019. – No. 22 (1). – DOI: 10.1007/s12283-019-0299-0
22. Rojas Ferrer C.D., Shishido H., Kitahara I., Kameda Y. Read-the-game: System for skill-based visual exploratory activity assessment with a full body virtual reality soccer simulation // PLOS ONE. – 2020. – No. 5 (3). – DOI: 10.1371/journal.pone.0230042
23. Stone J.A., Strafford B.W., North J.S., Toner C., Davids K. Effectiveness and efficiency of virtual reality designs to enhance athlete development: an ecological dynamics perspective // Movement & Sport Sciences-Science & Motricité. – 2018. – Vol. 102. – Pp. 51–60.
24. Tsai W.L. Personal basketball coach: Tactic training through wireless virtual reality // In: Proceedings of the 2018 ACM on International Conference on Multimedia Retrieval, 2018. – Pp. 481–484.
25. Vignais N., Kulpa R., Craig C., Bideau B. Virtual thrower versus real goalkeeper: the influence of different visual conditions on performance // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2010. – No. 19 (4). – Pp. 281–290.
26. Yang Y., Meng L. Physical education motion correction system based on virtual reality technology // International Journal of Emerging Technologies in Learning. – 2019. – No. 14 (13). – Pp. 105–116.
27. Yang Y. The innovation of college physical training is based on computer virtual reality technology // Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography. – 2018. – No. 21 (6). – Pp. 1275–1280.
28. Zaal F.T., Bootsma R.J. Virtual reality as a tool for the study of perception-action: The case of running to catch fly balls // Presence. – 2011. – No. 20 (1). – Pp. 93–103.
29. Zhou J. Research on the application of computer virtual reality technology in college sports training // In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. – No. 1648 (2). – P. 022104. – DOI: 10.1088/1742-6596/1648/2/022104
30. Zhu X., Kou F. Three-dimensional simulation of swimming training based on android mobile system and virtual reality technology // Microprocessors and Microsystems. – 2021. – No. 82. – P. 103908. – DOI: 10.1016/j.micpro.2021.103908