

EDN: YO Aubg  
УДК 796

## Extended Reality Technologies in Adaptive Sports: Advantages, Risks and Application Prospects

Vladimir I. Kolmakov<sup>\*a, b</sup>, Anna I. Kartavtzeva<sup>a</sup>,  
Lidia V. Kalina<sup>c</sup> and Ivan V. Sostavnev<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Siberian Federal University*

<sup>b</sup>*Institute of Biophysics SB RAS*

<sup>c</sup>*Sports Training Center*

<sup>d</sup>*Regional Sports Training Center for Adaptive Sports  
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 26.05.2024, received in revised form 17.06.2024, accepted 24.06.2024

**Abstract.** Extended reality (XR) is one of the most promising digital solutions of our time. The article presents an analysis of publications in the recent years (2020–2024) devoted to the use of different formats of extended reality (virtual, augmented, mixed) in the interests of the adaptive sports development. The possibilities of using XR in adaptive sports are considered to increase the effectiveness of training activities and the comfort and accessibility of sports, improve sports results as well as the qualifications of coaches, judges and managers, enhance motivation, reduce the level of injuries and potential hazards to the health of athletes and also rehabilitation time after sports injuries. The advantages, risks, and prospects for using XR technologies in adaptive sports are shown. It was concluded that XR technologies are an effective tool for improving sportsmanship, developing physical activity and gradually involving low-mobility groups in adaptive sports. The information presented in the article can be used in practical work by government social services, public organizations, athletes, coaches, judges, and managers in the field of adaptive sports.

**Keywords:** extended reality, adaptive sports, virtual reality, augmented reality, mixed reality, digital technologies, training activities, virtual competitions, sports rehabilitation.

Research area: Social Structure, Social Institutions and Processes; Sport.

Citation: Kolmakov V. I., Kartavtzeva A. I., Kalina L. V., Sostavnev I. V. Extended reality technologies in adaptive sports: Advantages, risks and application prospects. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. Soc. Sci.*, 2024, 17(8), 1525–1535. EDN: YO Aubg



## Технологии расширенной реальности в адаптивном спорте: преимущества, риски и перспективы применения

В.И. Колмаков<sup>а, б</sup>, А.И. Картавецва<sup>а</sup>,

Л.В. Калина<sup>в</sup>, И.В. Составнев<sup>г</sup>

<sup>а</sup>Сибирский федеральный университет

<sup>б</sup>Институт биофизики СО РАН

<sup>в</sup>Центр спортивной подготовки Министерства спорта Красноярского края

<sup>г</sup>Региональный центр спортивной подготовки по адаптивным видам спорта  
Российская Федерация, Красноярск

---

**Аннотация.** Расширенная реальность (XR) – одна из самых перспективных цифровых решений нашего времени. В статье представлен анализ публикаций последних лет (2020–2024 гг.), посвященных применению разных форматов расширенной реальности (виртуальной, дополненной, смешанной) в интересах развития адаптивного спорта. Рассмотрены возможности использования XR в адаптивном спорте для увеличения эффективности тренировочной деятельности, повышения спортивных результатов, усиления мотивации, повышения комфортности и доступности занятий спортом, понижения уровня травматизма и потенциальных опасностей для здоровья спортсменов, сокращения сроков реабилитации после спортивных травм, повышения квалификации тренеров, судей и менеджеров. Показаны преимущества, риски и перспективы применения технологий XR в адаптивном спорте. Сделано заключение о том, что технологии XR – это эффективный инструмент для повышения спортивного мастерства, развития двигательной активности и постепенного вовлечения маломобильных групп населения в занятия адаптивным спортом. Представленная в статье информация может быть использована в практической работе государственными социальными службами, общественными организациями, спортсменами, тренерами, судьями, менеджерами в области адаптивного спорта.

**Ключевые слова:** расширенная реальность, адаптивный спорт, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, цифровые технологии, тренировочная деятельность, виртуальные соревнования, спортивная реабилитация.

Научная специальность: 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы; 5.8.6. Оздоровительная и адаптивная физическая культура.

---

Цитирование: Колмаков В. И., Картавецва А. И., Калина Л. В., Составнев И. В. Технологии расширенной реальности в адаптивном спорте: преимущества, риски и перспективы применения. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Гуманитарные науки*, 2024, 17(8), 1525–1535. EDN: YOAUBG

---

В XXI веке человеческое общество вступило в беспрецедентную эпоху искусственно-интеллекта и виртуальной жизни, которая характеризуется коммерциализацией достижений цифровых технологий и их широким применением во многих сферах социально-экономической жизни, в том числе в спор-

те (Cossich et al., 2023; Kaufman et al., 2023). К одному из самых перспективных цифровых решений для спорта принято относить так называемую расширенную реальность (в англоязычной литературе XR, extended reality) (Le Noury et al., 2022). Она создается компьютерными средствами и переносны-

ми устройствами и объединяет виртуальную (VR, virtual reality), дополненную (AR, augmented reality) и смешанную (MR, mixed reality) реальность. Иногда в научной литературе XR рассматривается как всеобщий “зонтичный” термин для разных форматов реальности (Raushnabel et al., 2022). В настоящее время XR становится важнейшей частью тренировочной деятельности (Zhang, Tsai, 2021), крупных спортивных мероприятий (Byers et al., 2021), телевизионных спортивных трансляций (Goebert et al., 2022), программ восстановления спортсменов после травм (Soltanabadi et al., 2023).

Виртуальная реальность – это инструмент воссоздания познавательной и сенсомоторной деятельности через создание иллюзии присутствия в трехмерной среде с помощью программно-аппаратных средств и гарнитуры: от шлемов и очков до виртуальных комнат. Дополненная реальность предполагает наложение цифровой графики на реальную среду с использованием проекций, таких как анимация, текст, изображение. Технология AR получила широкую известность через развлекательные игры, которые способствуют физической активности и даже укреплению здоровья пользователей – участников игры (Kosa, Uysal, 2022). Иногда, как упрощенный вариант AR, отдельно выделяют вспомогательную реальность (assisted reality, AAR), технология которой предполагает добавление только одного слоя данных на реальные объекты (Willis et al., 2024). Смешанная реальность – это гибридная форма реальности, предполагающая совместное применение AR или ARR и объектов дополненной виртуальности (AV, augmented virtuality). Особенность технологии MR заключается в возможности для пользователя наблюдать “точку соприкосновения” и взаимодействие виртуальных и реальных объектов. Наглядным примером использования MR является обучение на симуляторах, применяющееся в различных сферах системы образования (Banjar et al., 2023).

Основная ценность XR заключается в том, что она позволяет осуществлять традиционную деятельность более увлека-

тельно и эффективно или выполнять даже то, что раньше было невыполнимо. Поэтому технологии VR, AR, ARR и MR начинают играть важную роль для улучшения качества жизни людей с ограниченными возможностями (Gaballa et al., 2022). Можно предположить, что XR имеет большой потенциал для использования в интересах развития адаптивного спорта. Однако в литературе имеются работы, в которых представлена информация о потенциальной опасности и рисках применения XR в адаптивном спорте (Pons et al., 2022). Цель настоящей статьи – на основании публикаций последних лет (2020–2024 гг.) провести комплексный анализ и дать описание преимуществ, недостатков и перспектив применения технологий расширенной реальности в интересах развития адаптивного спорта.

#### **Обучение в адаптивном спорте на основе XR**

Известно, что оптимизация и правильная последовательность техники выполнения движений в конкретном виде спорта – это путь к улучшению спортивных результатов. С этой целью в тренировочном процессе начали применять технологии XR, которые позволяют создавать цифровых двойников (Zhang Z. et al., 2022) в виде виртуальных соперников, аватаров или “эталонных” помощников. Сформированные на основе XR цифровые интеллектуальные помощники спортсменов применяются для обучения технике движений и повышению спортивного мастерства (Ahir et al., 2020). Кроме этого, виртуальных цифровых двойников можно успешно применять для обучения первичным навыкам в адаптивном спорте, что позволяет не допускать или сокращать число ошибок при выполнении физических упражнений (Lee, Jin, 2023). С помощью XR начинающие спортсмены быстрее и эффективнее осваивают выполнение технических приемов в отдельных видах адаптивного спорта, таких как бочча, следж-хоккей, езда на велосипеде (Benim et al., 2021). В отличие от традиционной тренировочной деятельности, XR-тренировка

не требует обязательного присутствия помощников, спарринг-партнеров и даже тренеров.

Большие перспективы с XR открываются для организации спортивных мероприятий. Виртуальные двойники спортивных мероприятий позволяют без физического пребывания спортсменов на стадионе (площадке, дистанции) создать у них ощущения и эмоции от происходящего действия, в том числе от шумового эффекта, создаваемого зрителями на трибунах (Glebova et al., 2023). Поэтому в настоящее время технологии XR в полном (VR+AR+ARR+MR) или отдельном формате (напр., MR) активно привлекаются для организации соревнований по адаптивному спорту (Yildirim, 2024). Виртуальные соревнования – это фактор социализации для спортсменов с ограниченными возможностями и один из лучших способов психологической подготовки к участию в реальных соревнованиях со зрителями и соперниками.

При выполнении физических упражнений с использованием XR спортсмен имеет возможность получать информацию в реальном времени по принципу биологической обратной связи за счет соматосенсорных ощущений (слуховых, зрительных, тактильных) и использовать полученную информацию для коррекции производимых движений (Pastel et al., 2023). Это особенно востребовано для людей с нарушениями зрения или слуха. Для гольфа, как одного из самых популярных видов спорта для людей с нарушениями зрения, разработано специальное приложение на основе акустической VR (Watanabe et al., 2022). В данном виде спорта используется мяч со встроенными колокольчиками, и применение VR с акустикой на тренировках помогает игрокам в гольф приобретать способность точного определения местонахождения мяча и расстояния до него. В работе Nebutova et al. (2021) показана эффективность использования AR для обучения детей с нарушением слуха технике движений в беге на 100 м и прыжках в длину на начальном этапе спортивной подготовки.

Для игровых видов адаптивного спорта (следж-хоккей, регби на колясках и др.) актуально обучение на тренировочных занятиях командным технико-тактическим приемам. Во всех форматах XR возможно обучение правилам командных спортивных игр, способам и средствам достижения результата, приемам и схемам атакующих и защитных действий, отработке командного ритма игры. В работе Vidal and Rodrigo (2021) представлен баскетбольный симулятор XR (VR+AR+MR) с многопользовательской сетевой поддержкой, который использует жесты рук для точной имитации баскетбольных движений и отработки слаженных защитных и атакующих действий. Подобные симуляторы и тренажеры на основе XR позволяют спортсменам, относящимся к разным нозологическим группам, совместно осуществлять тренировочную деятельность. Следовательно, XR можно рассматривать как средство для общения и сближения спортсменов, представляющих разные направления в адаптивном спорте.

Также XR может способствовать приобретению психологических качеств, необходимых в адаптивном спорте, таких как сила воли для достижения поставленной цели. Например, для молодых людей с дисфункцией нижних конечностей разработано VR-игровое программное и аппаратное обеспечение для скалолазания (Zhang X. et al., 2022). Особенностью данного проектного решения было сочетание выполнения виртуальных целенаправленных спортивных задач (достижение вершины горы) с полезными для здоровья участников физическими упражнениями на развитие мускулатуры верхнего пояса. Одной из целей тренировочной деятельности с XR в адаптивном спорте может стать формирование, развитие и закрепление психологических и поведенческих качеств у спортсменов: психологической гибкости, соревновательной дисциплины, устойчивости к стрессу. Так как тренировочный процесс с XR можно сочетать в режиме онлайн с мониторингом биомеханических и физиологических показателей спортсме-

нов, то имеется возможность исследовать динамику изменений данных параметров по принципу обратной связи (Alekseeva, 2022). По сути, XR позволяет формировать динамичные условия тренировки с целью проведения оценки воздействия выполняемых физических нагрузок на спортивные результаты (Shao, 2024). Дистанционный контроль функциональных показателей спортсменов в течение XR-тренировки позволит тренерам вносить коррективы в процесс спортивной подготовки. Эффект от применения XR усиливается, если данные технологии сочетать с визуализацией статистических данных и искусственным интеллектом (Cossish et al., 2023).

Цифровые технологии XR используются не только в подготовке спортсменов, но и для повышения качества работы спортивных администраторов и судей (Frevel et al., 2022). Например, в литературе приводится описание обучающих программ на основе XR, предназначенных для повышения квалификации спортивных судей и менеджеров (Kittel et al., 2021). Данные программы способствуют не только приобретению знаний о правилах, регламентах, положениях о соревнованиях, но и когнитивных компетенций по этике взаимодействия со спортсменами в адаптивном спорте (Alexander, Bloom, 2023). Очевидно, что знания о нозологических особенностях разных групп населения позволят тренерам и менеджерам корректно вовлекать и мотивировать людей с ограниченными возможностями на регулярные занятия адаптивным спортом (Sicalidis et al., 2023).

Таким образом, привлечение разноформатных технологий XR в адаптивный спорт открывает новые возможности для улучшения спортивных результатов, организации соревнований и тренировочной деятельности, дополнительного обучения спортсменов, тренеров, судей и менеджеров. Наряду с повышением качества тренировочного и соревновательного процесса имеются и другие весомые причины для применения XR в адаптивном спорте, в том числе повышение уровня мотивации и комфортности занятий.

### **Повышение мотивации и комфортности на основе XR**

Технологии XR могут стать эффективной персонализированной средой для развития двигательной активности и постепенного вовлечения маломобильных групп населения в занятия адаптивным спортом. Особенно это актуально для спорта слепых, видов спорта на колясках и с высокотехнологичным оборудованием (Khurana et al., 2021). В научной литературе имеются данные о повышении самооценки, психологического благополучия и степени погруженности в занятия адаптивным спортом на основе VR (McMahon et al., 2020). Например, в статье Winter et al. (2021) показано, что тренировка на беговой дорожке с использованием VR повышает мотивацию людей с ограниченными возможностями на выполнение утомительных повторяющихся движений.

Специальные VR-игры разработаны для спортсменов с расстройствами аутистического спектра, испытывающих трудности при обучении сложным физическим упражнениям, тренировке физической силы и ритмике движений (Kimber et al., 2023). Использование VR-игр помогает пользователям овладеть игровыми навыками, избавиться от чувства неловкости в незнакомых ситуациях. По мнению Lu et al. (2023), VR-игры способствуют постепенному переходу от "...когнитивного процесса сознательной оценки к выполнению интуитивного подсознательного процесса реагирования". То есть VR-игры для спортсменов с расстройствами аутистического спектра – это своеобразный стимулятор повышения интенсивности физических нагрузок и преодоления психологического стресса. В статье Wentzel et al. (2022) отмечается, что пользователи с ограниченными физическими возможностями, относящиеся к разным нозологическим группам, позитивно оценивали опыт использования спортивных VR-игр и VR-тренировок для повышения уровня удовольствия и мотивации к активному образу жизни. Дополнительно процессу вовлечения в спорт новых участников способствует современный и увлека-

тельный дизайн технологических разработок и аппаратуры для XR.

Однако социально-экономические причины могут существенно затруднить вовлечение лиц с ограниченными возможностями в занятия адаптивным спортом (Declerck et al., 2021). Даже мотивированный человек может прекратить тренировки и участие в соревнованиях из-за многочисленных препятствий, мешающих заниматься адаптивным спортом. Расширенная реальность “разрушает” традиционные барьеры, тем самым способствуя привлечению лиц с ограниченными возможностями в занятия адаптивным спортом (Willingham et al., 2024). В пандемию Covid-2019 более 1,6 млн пользователей применяли виртуальные велосипедные платформы, позволяющие в онлайн-режиме с помощью специального оборудования измерять результаты и формировать цифровых двойников в виртуальном мире (Westmattmann et al., 2021a). Кроме применения велосипедных платформ в тренировочной деятельности пользователи имели возможность принимать участие в виртуальных соревнованиях. Так, гонка на велосипедах “Виртуальный Тур де Франс” транслировалась в более чем 130 странах мира, и в ней соревновались как действующие олимпийские чемпионы, так и тысячи спортсменов-любителей, в том числе из адаптивного спорта (Westmattmann et al., 2021b). Также применение VR позволило создать виртуальные беговые и танцевальные платформы, гребные и фитнес-клубы, что способствовало расширению социальной инклюзии и увеличению физической активности населения (Sarupuri et al., 2023).

Следовательно, с помощью XR устраняются два основных препятствия для занятий адаптивным спортом (Yildirim et al., 2024). Первое препятствие – зависимость тренировочного и соревновательного процесса от неблагоприятных погодных факторов: сильный ветер, обильные осадки, низкая или высокая температура воздуха, туман. Обучение в спорте на основе XR может проводиться на идеальных площадках при комфортных погодных условиях.

С другой стороны, для тренировки спортсменов могут создаваться сюжеты с разнообразными сложными погодными условиями за счет моделирования динамично меняющихся ситуаций, например сильный дождь во время забега на стадионе. Второе препятствие связано со сложностями в транспортировке спортсмена до места проведения тренировок, а также с отсутствием или ограничениями в доступности спортивной инфраструктуры. Обучение и тренировки с XR не имеют особых требований и могут проводиться даже в домашних условиях. То есть применение XR обеспечивает контролируемую, безопасную, комфортную, инклюзивную, приближенную к реальности среду для получения первичных навыков или повышения мастерства в отдельных видах адаптивного спорта.

#### **Снижение травматизма и реабилитация после травм на основе XR**

Спорт невозможен без травм и болезней. При этом, согласно статистическим данным, в адаптивном спорте уровень травматизма может быть выше, чем в спорте людей с нормативным развитием (Rayes et al., 2022). В первую очередь это относится к травмам верхних конечностей в видах спорта с использованием колясок на ручном приводе (Cug et al., 2022). Существует в адаптивном спорте и проблема профессиональных спортивных заболеваний, таких как посттравматический остеоартроз, проявляющийся в повреждении костных структур или окружающих мягких тканей (Nambi et al., 2020). По данным Schuermans et al. (2022), снижение рисков травматизма и заболеваний в адаптивном спорте возможно на основе применения XR, где спортсмен помещается в потенциально неопасную среду. Важно, что XR предоставляет возможность тренировать двигательную активность с учетом индивидуального биомеханического профиля, что также снижает риск получения распространенных спортивных травм (Edriss et al., 2024).

Как правило, традиционный реабилитационный цикл занимает продолжи-

тельное время и предполагает многократное выполнение монотонных физических упражнений, что часто вызывает психологическое напряжение у травмированного спортсмена (Song, Tuo, 2022). Перспективу решения данной проблемы связывают с применением персональной виртуальной реабилитации, при которой лечебные сеансы адаптированы в соответствие с текущими потребностями конкретного спортсмена (Jeukumar et al., 2022). То есть наряду с восстановлением функциональных показателей виртуальная реабилитация способствует улучшению психологического состояния спортсмена. В статье Nambi et al. (2020) отмечается, что благодаря применению XR в программе реабилитации у спортсменов с остеоартрозом наблюдалось снижение боли, воспалительных процессов, уровня гормонов “стресса” в крови. Механизм влияния XR – это стимуляция центров головного мозга и улучшение нервно-мышечного контроля через сенсорную обратную связь (Guo et al., 2024). Может применяться XR и для моделирования более эффективных комплексов физических упражнений с учетом нозологических особенностей при восстановлении спортсменов после травм (Miah et al., 2020).

### **Потенциальные риски применения XR**

В существующих форматах применение технологий XR, особенно VR и MR, может нести риски для здоровья человека, а также иметь негативные психологические и эмоциональные последствия (Pons et al., 2022). Наибольшее беспокойство вызывают так называемые киберболезни или негативные психофизиологические реакции на иллюзии восприятия виртуальной среды. Киберболезни могут быть разнообразны по проявлениям: тошнота, головокружение, “морская” болезнь, паническая атака, дезориентация в пространстве, перенапряжение глаз, головная боль и др. (Soltani, Morice, 2020). Кроме того, некоторые форматы XR могут создавать дополнительные физиологические и психологические барьеры доступности для спортсменов с ограниченными возможностями. Так, в статье Creed

et al. (2023) отмечается, что пользователи с физическими недостатками имели проблемы при инициализации VR, в том числе при настройке периферических устройств, установке и снятии головных дисплеев.

Вышеуказанные риски и опасности XR могут представлять собой серьезную угрозу для здоровья спортсменов с нейроразнообразием или ментальными нарушениями. Для снижения рисков возникновения усталости, боли, спортивных травм в VR-симуляторах предусматривается автоматическая настройка сложности игр и сюжетов, а также ограничения по времени тренировочного занятия. Возможно, спортсменам с нейроразнообразием или ментальными нарушениями следует ограничиться применением только AR и AAR для обучения в адаптивном спорте и исключить применение VR и MR. Чтобы окончательно ответить на вопрос о существовании вреда (или его отсутствии) для различных нозологических групп населения от некоторых форматов XR, необходимо проведение дополнительных научных исследований.

Одним из потенциальных рисков применения XR в адаптивном спорте может стать сокращение коммуникативного взаимодействия между спортсменами. Это возможно, когда индивидуальное XR-обучение и XR-тренировки осуществляются на симуляторах без выхода в Интернет. В этом случае виртуализация часто проходит через закрытые гарнитуры, что способствует изоляции и ограничивает возможности для речевого общения и невербальных коммуникаций. Продолжительное по времени и глубокое погружение в XR, особенно на симуляторах без выхода в Интернет, может привести к потере связи с реальностью и изоляции от общества (Kenwright, 2023).

### **Заключение**

Основная цель развития адаптивного спорта заключается в социализации и повышении качества жизни человека с ограниченными возможностями. Эффективным инструментом для достижения этой благородной цели могут стать технологии XR, привлекательность применения ко-

торых в интересах развития адаптивного спорта связана со следующими основными причинами. Во-первых, применение XR может существенно облегчить вовлечение в занятия адаптивным спортом лиц с ограниченными возможностями. Во-вторых, обучение на основе XR может повысить мастерство спортсменов, особенно при использовании цифровых двойников для освоения эталонной техники выполнения физических упражнений, индивидуальных и командных тактических действий, а также развития перцептивно-когнитивных навыков. В-третьих, XR позволит осуществлять тренировочный процесс и спортивные соревнования с меньшим риском травматизма для участников, повышенным комфортом и доступностью занятий адаптивным спортом. В-четвертых, XR может сыграть ключевую роль в повышении мотивации, самооценки и формиро-

вании позитивного отношения к тренировочной и соревновательной деятельности. В-пятых, обучение на основе XR может повысить квалификацию тренеров, судей и менеджеров адаптивного спорта.

В ближайшем будущем масштабирование технологий XR (VR, AR, ARR, MR) послужит катализатором формирования новых возможностей в адаптивном спорте, в том числе для увеличения числа занимающихся спортом на постоянной основе, оптимизации тренировочной деятельности, повышения спортивных результатов, расширения социальной инклюзии. При этом адаптивный спорт выступит в качестве “полигона” для совершенствования технологий XR. Однако важно отметить, что технологии XR не рассматриваются как полная замена, а только как эффективное дополнение к традиционной тренировочной и спортивной деятельности в адаптивном спорте.

### Список литературы / References

Alekseyeva O. P. Tekhnologicheskkiye innovatsii v oblasti adaptivnoy fizicheskoy kul'tury [Technological innovations in the field of adaptive physical culture]. In: *Sovremennoye pedagogicheskoye obrazovaniye* [Modern Pedagogical Education], 2022, 2, 114–119.

Ahir K., Govani K., Shah M. Application on virtual reality for enhanced education learning, military training and sports. In: *Augmented Human Research*, 2020, 5, article ID 7. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100034>

Alexander D., Bloom G. A. Exploring coaches' experiences and perceptions of a virtual parasport coach mentorship program. In: *Psychology of Sport and Exercise*, 2023, 64, article ID 102303. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102303>

Banjar A., Xu X., Iqbal M. Z., Campbell A. A systematic review of the experimental studies on the effectiveness of mixed reality in higher education between 2017 and 2021. In: *Computers & Education: X Reality*, 2023, 3, article ID 100034. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107564>

Benim S. B., Berkman M. I., Catak G. Design process of a VR sport games trilogy for paraplegic players: VR 4Inclusion case study. In: *Game + Design Education. Proceedings of PUDCAD 2020*. Ed. by O. Cordan, D. A. Dincay, G. Y. Toker, E. B. Oksuz, S. Semizoglu. Cham, Switzerland: Springer, 2021, 181–192. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65060-5>

Byers T., Hayday E. J., Mason F., Lunga Ph., Headley D. Innovation for positive sustainable legacy from mega sport events: virtual reality as a tool for social inclusion legacy for Paris 2024. In: *Frontiers in Sports and Active Living*, 2021, 3, article ID 625677. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.625677>

Cossich V. R. A., Carlgren D., Holash R. J., Katz L. Technological breakthroughs in sport: current practice and future potential of artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, and modern data visualization in performance analysis. In: *Applied Sciences*, 2023, 13(23), article ID 12965. <https://doi.org/10.3390/app132312965>

Creed Ch., Al-Kalbani M., Theil A., Sarcar S., Williams I. Inclusive augmented and virtual reality: A research agenda. In: *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2023. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2247614>



- Cyr A.K., Colorado B.S., Uihlein M.J., Garlanger K.L., Tarima S.S., Lee K. Prevalence of lateral epicondylitis in veteran manual wheelchair users participating in adaptive sports. In: *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 2022, 45(2), 238–244. <https://doi.org/10.1080/10790268.2020.1771243>
- Declerck L., Stoquart G., Lejeune T., Vanderthommen M., Kaux J.-F. Barriers to development and expansion of adaptive physical activity and sports for individuals with a physical disability in sports clubs and centres. In: *Science & Sports*, 2021, 36(3), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.12.002>
- Edriss S., Romagnoli C., Caprioli L., Zanela A., Panichi E., Campoli F., Padua E., Annino G., Bonaiuto V. The role of emergent technologies in the dynamic and kinematic assessment of human movement in sport and clinical applications. In: *Applied Sciences*, 2024, 14(3), article ID 1012. <https://doi.org/10.3390/appl4031012>
- Frevel N., Beiderbeck D., Schmidt S. The impact of technology on sports – A prospective study. In: *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 188, article ID 121838. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121838>
- Gaballa A., Cavalcante R.S., Lamounier E., Soares A., Cabibihan J.-J. Extended reality “x-reality” for prosthesis training of upper-limb amputees: A review on current and future clinical potential. In: *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2022, 30, 1652–1663. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3179327>
- Glebova E., Gerke A., Book R. The transformational role of technology in sports events. In: *Sports Management in an Uncertain Environment. Sport Economics, Management and Policy*. Ed. by B. Basu, M. Desbordes, S. Sarkar. Singapore: Springer, 2023, 21, 169–187. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-7010-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7010-8_8)
- Goebert Ch., Greenhalgh G., Dwyer B. A whole new ball game: Fan perceptions of augmented reality enhanced sport broadcasts. In: *Computers in Human Behavior*, 2022, 137, article ID 107388. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107388>
- Guo L., Li Sh., Xie Sh., Bian L., Shaharudin Sh. The impact of digital healthcare systems on pain and body function in patients with knee joint pain: a systematic review and meta-analysis. In: *Scientific Reports*, 2024, 14, article ID 3310. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53853-z>
- Jeykumar V., Sundaman P., Ramapathiran N., Kannan P. Virtual reality-based rehabilitation gaming system. In: *Artificial Intelligence and Machine Learning for Healthcare. V.2: Emerging Methodologies and Trends*. Ed. by Ch. Lim, A. Vaidya, Y.-W. Chen, V. Jain, L.c. Jain. Cham, Switzerland: Springer, 2022, 135–180. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11170-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11170-9_6)
- Kaufmann E., Bauersfeld L., Loquercio A., Muller M., Koltun V., Scaramuzza D. Champion-level drone racing using deep reinforcement learning. In: *Nature*, 2023, 620, 982–987. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06419-4>
- Kenwright B. Impact of XR on mental health: Are we playing with fire? In: *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.01648>
- Khurana R., Wang A., Carrington P. Beyond adaptive sports: Challenges and opportunities to improve accessibility and analytics. In: *Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '21), October 18–22, 2021, virtual event, New York, USA*, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3441852.3471223>
- Kimber A., Burns J., Murphy M. “It’s all about knowing the young person”: Best practice in coaching autistic athletes. In: *Sport Coaching Review*, 2023, 12(2), 166–186. <https://doi.org/10.1080/21640629.2021.1944527>
- Kittel A., Cunningham I., Larkin P., Hawkey M., Rix-Lievre G. Decision-making training in sporting officials: Past, present and future. In: *Psychology of Sport and Exercise*, 2021, 56, article ID 102003. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102003>
- Kosa M., Uysal A. Effects of presence and physical activity on player well-being in augmented reality games: A diary study. In: *International Journal of Human – Computer Interaction*, 2022, 38(1), 93–101. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1925437>
- Le Noury P.J., Polman R.C., Maloney M.A., Gorman A.D. A narrative review of the current state of extended reality technology and how it can be utilised in sport. In: *Sports Medicine*, 2022, 52, 1473–1489. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01669-0>

Lee N. K., Jin J. The effect of a virtual reality exergame on motor skills and physical activity levels of children with a developmental disability. In: *Research in Developmental Disabilities*, 2023, 132, article ID 104386. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104386>

Lu T. W., Yeh M. L., Lu L. C. A flow study on virtual reality games to help autistic youngsters with healthy activities. In: *Cross-Cultural Design. HCII 2023. Lecture Notes in Computer Science, 14024*. Ed. by P. P. Rau. Cham, Switzerland: Springer, 2023, 486–504. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35946-0\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35946-0_39)

McMahon D. D., Barrio B., McMahon A. K., Tutt K., Firestone J. Virtual reality exercise games for high school students with intellectual and developmental disabilities. In: *Journal of Special Education Technology*, 2020, 35(2), 87–96. <https://doi.org/10.1177/0162643419836416>

Miah A., Fenton A., Chadwick S. Virtual reality and sport: the rise of mixed, augmented, immersive, and esports experiences. In: *21st Century Sports. Future of Business and Finance*. Ed. by S. L. Schmidt. Cham, Switzerland: Springer, 2020, 249–262. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50801-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50801-2_15)

Nambi G., Aldelbasset W. K., Elsayed Sh. H., Khalil M. A., Alrawaili S. M., Alsubaie S. F. Comparative effects of virtual reality training and sensory motor training on bone morphogenic proteins and inflammatory biomarkers in post-traumatic osteoarthritis. In: *Scientific Reports*, 2020, 10, article ID 15864. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72587-2>

Nebytova L. A., Katrenko M. V., Savin D. I., Zhuravleva Y. I. Augmented reality in the training process of children with hearing disorders. In: *Distance Learning Technologies*, 2021, 2834, 330–339. <https://ceur-ws.org/Vol-2834/Paper28.pdf>

Pastel S., Petri K., Chen C. H., Caceres A. M. W., Stirnatis M., Nubel C., Schlotter L., Witte K. Training in virtual reality enables learning of a complex sports movement. In: *Virtual Reality*, 2023, 27, 523–540. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00679-7>

Pons P., Navas-Medrano S., Soler-Dominguez J. L. Extended reality for mental health: Current trends and future challenges. In: *Frontiers in Computer Science*, 2022, 4, article ID 1034307. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.1034307>

Rayes R., Ball C., Lee K., White Ch. Adaptive sports in spinal cord injury: a systematic review. In: *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 2022, 10, 145–153. <https://doi.org/10.1007/s40141-022-00358-3>

Rauschnabel Ph., Felix R., Hinsch Ch., Shahab H., Alt F. What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality. In: *Computers in Human Behavior*, 2022, 133, article ID 107289. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>

Sarupuri B., Kulpa R., Aristidou A., Multon F. Dancing in virtual reality as an inclusive platform for social and physical fitness activities: a survey. In: *The Visual Computer*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00371-023-03068-6>

Schuurmans J., Van Hootegem A., Van de Bossche M., Van Gendt M., Witvrouw E., Wezenbeek E. Extended reality in musculoskeletal rehabilitation and injury prevention – A systematic review. In: *Physical Therapy in Sport*, 2022, 55, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.04.011>

Shao Q. Virtual reality and ANN-based three-dimensional tactical training model for football players. In: *Soft Computing*, 2024, 28, 3633–3648. <https://doi.org/10.1007/s00500-024-09634-x>

Sicalidis K. E., Hettinga F. J., Ling F. Ch. Coaching styles and sports motivation in athletes with and without intellectual impairments. In: *PLOS ONE*, 2023, 18(12), article ID 0296164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296164>

Soltanabadi S., Minoonejad H., Bayattork M., Seyedahmadi M. Effect of virtual reality and augmented reality training for injury prevention and accelerating rehabilitation of anterior cruciate ligament injury in athletes: A scoping review. In: *Asian Journal of Sports Medicine*, 2023, 14(4), article ID 139704. <https://doi.org/10.5812/asjms-139704>

Soltani P., Morice A. H. P. Augmented reality tools education and training. In: *Computers & Education*, 2020, 155, article ID 103923. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103923>

Song B., Tuo P. Application of artificial intelligence and virtual reality technology in the rehabilitation training of track and field athletes. In: *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, article ID 9828199, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/9828199>

Vidal E.C.J.E., Rodrigo M.M.T. VAMR basketball on head-mounted and hand-held devices with hand-gesture-based interactions: In: *Proceedings of 23<sup>rd</sup> Human-Computer Interaction International Conference, HCI 2021, Games 2021, Virtual Event, July 14–29, 2021. Part 2*. Ed. by C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa. Cham, Switzerland: Springer, 2021, 337–344. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_46)

Watanabe M., Miura T., Matsuo M., Sakajiri M., Onishi J. GoalBaural-II: An acoustic virtual reality training application for goalball players to recognize various game conditions. In: *Lecture Notes in Computers Science. Proceedings International Conference “Computers Helping People with Special Needs”, ICCHP-AAATE-2022, Lecho, Italy, July 11–15, 2022, Part II*. Ed. by K. Miesenberger, G. Kouroupetroglou, K. Mavrou, R. Manduchi, M. C. Rodriguez, P. Penaz. Cham, Switzerland: Springer, 2022, 13342, 79–88. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08645-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08645-8_10)

Wentzel J., Junuzovic S., Devine J., Porter J., Mott M. Understanding how people with limited mobility use multi-modal input. In: *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '22), 2022, April 29 – May 5, 2022, New Orleans, New York, USA*, article ID 4, 1–17. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517548>

Westmattmann D., Grotenhermen J.-G., Sprenger M., Schewe G. The show must go on – virtualization of sport events during the COVID-2019 pandemic. In: *European Journal of Information Systems*, 2021a, 30(2), 119–136. <https://doi.org/10.1080/096085x.2020.1850186>

Westmattmann D., Grotenhermen J.-G., Sprenger M., Rand W., Schewe G. Apart we ride together: The motivations behind users of mixed-reality sports. In: *Journal of Business Research*, 2021b, 134, 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.05.044>

Willingham T.B., Stowell J., Collier G., Baskus D. Leveraging emerging technologies to expand accessibility and improve precision in rehabilitation and exercise for people with disabilities. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2024, 21(1), article ID 79. <https://doi.org/10.3390/ijerph21010079>

Willis C., Dawe J., Leng C. Creating a smart classroom in intensive care using assisted reality technology. In: *Journal of the Intensive Care Society*. 2024, 25(1), 89–94. <https://doi.org/10.1177/17511437231178207>

Winter C., Kern F., Gall D., Latoschik M.E., Pauli P., Kathner I. Immersive virtual reality during gait rehabilitation increases walking speed and motivation: a usability evaluation with healthy participants and patients with multiple sclerosis and stroke. In: *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2021, 18, article ID 68. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00848-w>

Yildirim C. Transformative virtual reality games for adaptive sports training: Exploring the perceptions of individuals with mobility impairments. In: *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2024, 40(5), 1–34. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2311970>

Zhang Ya., Tsai S.-B. Application of adaptive virtual reality with ai-enabled techniques in modern sports training. In: *Mobile Information Systems*, 2021, article ID 6067678. <https://doi.org/10.1155/2021/6067678>

Zhang X., Hui L., Li M., Huang J., Chen Ch., Yang Yu., Song F., Hu F., Luh D.-B. Desing to assist better youthhood for adolescents with lower-limb disability through virtual reality sports. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(7), article ID 3985. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073985>

Zhang Z., Wen F., Sun Zh., Guo X., He T., Lee Ch. Artificial intelligence-enabled sensing technologies in the 5G/internet of things era: From virtual reality/augmented reality to the digital twin. In: *Advanced Intelligent Systems*, 2022, 4(7), article ID 2100228. <https://doi.org/10.1002/aisy.202100228>