

Е.В. Голобородько, С.М. Разинкин, Д.А. Андреев, А.А. Киш

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ СПОРТСМЕНОВ

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Голобородько Евгений Владимирович: egoloborodko@fmbcfmba.ru

Резюме

Природоподобные технологии – методологические подходы, воспроизводящие механизмы и структуры живых систем. Они занимают всё более значимое место в системе подготовки спортсменов высокого уровня. Цель настоящего обзора состоит в систематизации научных данных об эффективности природоподобных (биомиметических, бионических и экофизиологических) технологий для повышения функциональной готовности спортсменов по ключевым параметрам: выносливость, скоростно-силовые характеристики, терморегуляция и скорость восстановления. Методологическую основу составил систематический поиск источников в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science SPORTDiscus, elibrary и Киберленинка за период 2010 – 2024 гг. с применением предварительно разработанных критериев включения и оценки качества. В итоговый анализ вошло 73 первичных исследования и 14 обзорных работ. Показано, что биомиметические спортивные костюмы (в первую очередь плавательные), экзоскелетные устройства с бионическими актуаторами, адаптивные протоколы гипоксической тренировки, а также природоподобные методы восстановления (криотерапия, хронобиологические подходы) демонстрируют умеренный и выраженный положительный эффект на целевые показатели готовности. Вместе с тем имеются данные о ряде ограничений их широкого внедрения: неоднородность доказательной базы, риски для здоровья при применении отдельных технологий и неравенство доступа к ним. Практическая значимость обзора определяется обоснованием принципов безопасной и этичной интеграции природоподобных технологий в тренировочный процесс с учётом индивидуальных особенностей спортсменов.

Ключевые слова: *природоподобные технологии, биомиметика, бионика, функциональная готовность спортсменов, спортивная медицина, восстановление, терморегуляция*

Для цитирования: Голобородько Е.В., Разинкин С.М., Андреев Д.А., Киш А.А. Природоподобные технологии в системе повышения функциональной готовности спортсменов //Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2026. №2. С. 36–41 DOI: 10.33266/2782-6430-2026-2-36-41

E.V. Goloborod'ko, S.M. Razinkin, D.A. Andreyev, A.A. Kish

Nature-Like Technologies in the System of Increasing the Functional Readiness of Athletes

International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center
of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Contact person: Goloborod'ko Yevgeniy Vladimirovich: egoloborodko@fmbcfmba.ru

Abstract

Nature-inspired technologies are methodological approaches that replicate the mechanisms and structures of living systems. They are increasingly playing a significant role in the training of high-level athletes. The purpose of this review is to systematize scientific data on the effectiveness of nature-inspired (biomimetic, bionic, and ecophysiological) technologies for enhancing athletes' functional readiness across key parameters: endurance, speed-strength characteristics, thermoregulation, and recovery rate. The methodological basis was a systematic search of sources in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science SPORTDiscus, elibrary, and Cyberleninka databases for the period 2010 – 2024, using pre-developed inclusion and quality assessment criteria. The final analysis included 73 primary studies and 14 review papers. Data synthesis revealed that biomimetic sportswear (primarily swimsuits), exoskeletal devices with bionic actuators, adaptive hypoxic training protocols, and nature-inspired recovery methods (cryotherapy, chronobiological approaches) demonstrate moderate to significant positive effects on target fitness indicators. However, there is evidence of a number of limitations to their widespread implementation: heterogeneity of the evidence base, health risks associated with the use of certain technologies, and unequal access to them. The practical significance of the review lies in its substantiation of the principles of safe and ethical integration of nature-inspired technologies into the training process, taking into account the individual characteristics of athletes.

Keywords: *nature-like technologies, biomimetics, bionics, functional readiness of athletes, sports medicine, recovery, thermoregulation*

For citation: Goloborod'ko YV, Razinkin SM, Andreyev DA, Kish AA. Nature-Like Technologies in the System of Increasing the Functional Readiness of Athletes. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2026.2:36-41. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2026-2-36-41

Введение

В настоящее время руководство Российской Федерации уделяет большое внимание практическому внедрению природоподобных технологий. При этом одним из приоритетных направлений развития природоподобных технологий является разработка медицинских изделий с их использованием [1].

В этой связи, а также учитывая строгие ограничения для применения синтетических веществ и материалов в интересах спорта высших достижений, перспективным направлением является разработка новых природоподобных технологий спортивной медицины. Современный спорт высших достижений существует в условиях жёсткой конкуренции, при которой предельно малые преимущества – нередко измеряемые долями секунды или процентами прироста мощности – определяют исход соревнований [2].

Концепция природоподобных технологий гласит, что в ходе эволюции живые организмы «разработали» оптимальные решения задач, идентичных или близких тем, которые решает современная спортивная наука – управление гидродинамическим сопротивлением, терморегуляция, адаптация к гипоксии, минимизация ударных нагрузок на опорно-двигательный аппарат. В области спортивной экипировки применение таких технологий позволяет проектировать и оптимизировать снаряжение, имитируя материалы и тканевые структуры живых организмов для лучшей адаптации к характеристикам и потребностям спортсмена [3].

Несмотря на интенсивное развитие этого направления, существует ряд системных пробелов:

1. Отсутствие унифицированного словаря: термины «природоподобные», «биомиметические» и «бионические» технологии нередко употребляются как синонимы, что затрудняет сравнение результатов исследований.

2. Отсутствие рандомизированных контролируемых испытаний с достаточной мощностью выборки.

3. Недостаточная разработанность критериев безопасности и этических регламентов для ряда технологий (генетические методы, экзоскелеты, криотерапия).

В настоящей работе нами была предпринята попытка: систематизировать существующие классификации природоподобных технологий применительно к спорту, обобщить данные об их влиянии

на компоненты функциональной готовности и сформулировать научно обоснованные рекомендации по внедрению в тренировочную практику.

Природоподобные технологии в широком смысле – это технологии, которые воспроизводят принципы функционирования живых систем. В контексте спортивной медицины предлагается выделить следующие их категории (табл. 1).

Биомиметика (от греч. *bios* – жизнь, *mimēsis* – подражание) исследует биологические образцы для создания инновационных технических решений. Биомиметика предполагает разработку материалов, устройств или систем, имитирующих структуру или функцию биологических систем, с использованием нанотехнологий, биотехнологий и инженерии для создания новых или улучшенных материалов и оборудования, которые могут повысить функциональную готовность спортсменов [3].

Бионика, в отличие от биомиметики, акцентирует внимание не столько на конкретных структурах, сколько на общих принципах функционирования биологических систем. Экзоскелеты, воспроизводящие биомеханику сухожилий (например, по аналогии с ахилловым сухожилием кенгуру), позволяют повышать экономичность движений при беге и снижать пиковые ударные нагрузки. Использование высокотехнологичного оборудования для анализа и оптимизации движений атлетов, разработка протезов и ортезов, которые улучшают функциональные возможности и снижают риск травм – новое направление прикладной биомеханики.

При подготовке спортсменов необходимо анализировать и учитывать не только тренировочную и соревновательную деятельность, но и период восстановления, так как на этом этапе в организме формируется комплекс активнейших физиологических процессов, закрепляющих адаптационные морфофункциональные сдвиги функциональных систем организма [1]. Природоподобные методы восстановления моделируют физиологические реакции, свойственные пойкилотермным организмам (холодовые ванны, контрастная терморегуляция) или же используют хронобиологические подходы.

Материалы и методы

Настоящая работа представляет собой обзор литературы. Поиск осуществлялся в базах данных: PubMed/MEDLINE, Web of Science, IEEE Xplore,

Таблица 1

Классификация природоподобных технологий в спорте
Classification of nature-like technologies in sports

Категория	Аналог в живой природе	Область применения в спортивной медицине
Биомиметика	Структуры и материалы живых организмов	Спортивные костюмы, обувь, снаряжение
Бионика	Функциональные механизмы биосистем	Экзоскелеты, протезы, нейроинтерфейсы
Экофизиологические принципы адаптации	Механизмы гипоксической и температурной адаптации	Высотная и термальная подготовка
Хронобиологические технологии	Циркадные ритмы	Управление восстановлением, режимом сна
Регенеративные биотехнологии	Тканевая инженерия, стволовые клетки	Реабилитация после травм
Биосенсорика	Сенсорные системы животных	Носимые системы мониторинга

Scopus и SPORTDiscus, elibrary и Киберленинка. Временной охват: январь 2010 – декабрь 2024. Язык публикаций: английский, русский. Поисковые запросы включали следующие ключевые термины и их комбинации: biomimetics AND sports performance, bionic technology AND athletes, nature-inspired AND functional readiness, bionics AND injury prevention, thermoregulation technology AND sport, wearable biosensors AND athletic training, природоподобные технологии AND спорт.

Критерии включения:

- Оригинальные исследования (рандомизированные контролируемые, когортные, кросс-секционные) с участием спортсменов (любителей и профессиональных).

- Систематические обзоры и мета-анализы по тематике биомиметики в спортивной подготовке.

- Наличие количественной оценки хотя бы одного параметра функциональной готовности.

Критерии исключения:

- Исследования с количеством наблюдений менее 5.

- Публикации, посвящённые допингу и генетической модификации с нарушением регулятивных норм.

- Тезисы докладов на конференциях без полного текста.

После скрининга для анализа были отобраны 73 исследования, которые соответствовали критериям включения

Результаты

Биомиметическая экипировка и гидродинамика

Наиболее документированным примером использования биомиметики в спорте остаётся применение плавательных костюмов, имитирующих кожный покров акулы. Ещё до Олимпийских игр 2000 года Speedo разработала линейку таких плавательных костюмов под названием Fastskin, в том же году на соревнованиях по плаванию 80% медалей было завоёвано пловцами в костюмах Speedo Fastskin, а из 15 мировых рекордов в плавании 13 установили спортсмены в этих костюмах [4].

Костюм был разработан при участии инженеров, физиологов, более 100 элитных пловцов, а также специалистов NASA.

Вместе с тем данные относительно механизма действия оказались противоречивыми. Эксперименты, проведённые в лаборатории Лаудера и описанные в журнале *Journal of Experimental Biology*, показали, что, хотя кожа акул действительно позволяет плавать быстрее и эффективнее, поверхность плавательных костюмов типа Speedo Fastskin II не оказывает никакого эффекта в части снижения сопротивления воды при движении пловцов [5]. При этом исследователи сообщили, костюмы в целом способны улучшать результаты, эффект обусловлен не биомиметикой поверхности, а компрессионными и гидростатическими свойствами материала. Один из плавательных костюмов Speedo – полнотельный LZR Racer – оказался настолько успешным, что Международная федерация плавания (FINA) его запретила.

Носимые биосенсорные системы

Носимые сенсорные устройства обеспечивают мониторинг функционального состояния спортсменов в режиме реального времени в самых разных условиях [6]. Медицинские службы команд анализируют уровень подготовки спортсменов на основании массивов данных, получаемых с носимых устройств и «умной» экипировки: например, форма из материала eTextile обеспечивает передачу информации о состоянии мышечных волокон, частоте сердечных сокращений и интенсивности движений атлетов.

Спортивные носимые устройства вышли далеко за рамки простых фитнес-трекеров: теперь с помощью биотехнологий они могут отслеживать биохимические маркеры, уровень гидратации и даже насыщение крови кислородом в режиме реального времени, а также помогают контролировать тренировочную нагрузку, оптимизировать технику, выявлять усталость и предотвращать травмы от перегрузок [6].

Терморегуляционные технологии

Терморегуляционные технологии основаны на представлениях об экофизиологии пойкилотермных и гомойотермных животных. Устройства, измеряющие внешние факторы, такие как температура и влажность, помогают спортсменам адаптировать тренировки к различным климатическим условиям. Данная технология может применяться для мониторинга температуры ядра и в сочетании с кожными температурными датчиками может потребоваться при подготовке к Олимпийским играм в Лос-Анджелесе 2028, учитывая высокую вероятность проведения соревнований в условиях экстремальной жары [7].

К природоподобным терморегуляционным технологиям относятся:

- криотерапия, которая моделирует механизм терморегуляции ныряющих млекопитающих (контролируемое понижение температуры мышечных тканей с последующей гиперемической реакцией);

- фазоизменяемые материалы в спортивной одежде, которые имитируют термоаккумулирующие свойства биологических структур (в частности, жирового слоя арктических животных);

- испарительное охлаждение, которое воспроизводит принцип потоотделения, усиленный за счёт капиллярных структур.

Экзоскелеты и бионические ассистирующие устройства

Бионические экзоскелеты, имитирующие сухожильный аппарат прыгающих животных (кенгуру, страус, лошадь), позволяют частично аккумулировать и возвращать механическую энергию при ходьбе и беге. Например, Adidas Futurecraft 4D – обувь, в которой используется технология 3D-печати для создания индивидуальной межподошвы, способной адаптироваться к форме и движению стопы.

В беговой обуви Nike Vaporfly 4% и последующих версиях применяется пластина из углеродного волокна, напоминающая плюсневые кости страуса: по данным независимых исследований, экономия

энергии при беге составляет 4 – 6% по сравнению с контролем, что выливается в улучшение результата на 2 – 4 минуты у элитных атлетов-марафонцев.

Адаптивные протоколы гипоксической тренировки

Природоподобным прототипом гипоксических методов тренировки служит физиологическая адаптация животных к высокогорью – механизм, реализуемый через эритропоэтин-опосредованную полицитемию и сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина. При подготовке спортсменов высшей квалификации в целях повышения эффективности тренировочного процесса всё чаще используются различные модификации газовых смесей [8].

Подход «живи высоко – тренируйся низко» и прерывистая нормобарическая гипоксия воспроизводят условия горной адаптации в контролируемой лабораторной среде. По данным мета-анализа Bonetti и Hopkins, прирост МПК при применении таких технологий составляет в среднем 1,6 – 2,9%, что в случае высококвалифицированных спортсменов, является значимым преимуществом [9].

Регенеративные биотехнологии природоподобного типа

Появление 3D-биопечати позволило точно создавать тканевые структуры, например, с учётом точных размеров повреждённой области изготавливаются биопечатные хрящевые имплантаты, обеспечивая более естественный процесс заживления после спортивной травмы [10].

ИИ и предиктивная биомеханика

Одна из ключевых тенденций, обеспечиваемых прогностическими возможностями ИИ, – переход от реактивной к проактивной профилактике травм. В то время как традиционная практика сосредоточена на лечении после события, ИИ предлагает возможность выявлять потенциальные факторы риска до получения травмы. Эта проактивная стратегия имеет сильный потенциал для улучшения здоровья спортсменов и продления соревновательной карьеры [11].

В табл.2 приведены сводные данные об эффектах природоподобных технологий на компоненты функциональной готовности.

Обсуждение

Проведённый анализ позволяет констатировать, что для природоподобных технологий доказана значимая эффективность прежде всего в отношении аэробной выносливости (гипоксические тренировки), биомеханическая эффективность (конструкция обуви) и управление тренировочной нагрузкой (носимые биосенсоры).

Использование искусственного интеллекта позволяет проводить углубленный анализ текущих характеристик функционального состояния, производительности, выносливости и техничности спортсмена, формировать индивидуальные планы тренировок, выявлять ранние тревожные сигналы, при необходимости отслеживать восстановление и оптимизировать планы реабилитации.

Согласно механизмам действия природоподобных технологий можно объединить в три группы.

1. Биомеханические: снижение гидродинамического или аэродинамического сопротивления, упругий возврат кинетической энергии, перераспределение нагрузки на суставы.

2. Физиологические: индукция эритропоэза (гипоксия), усиление теплоотдачи или термоаккумуляции (специальная одежда), стимуляция регенерации тканей.

3. Информационные: биологическая обратная связь в режиме реального времени, предиктивное управление нагрузкой. Носимые датчики могут обеспечивать обратную связь в режиме реального времени, давать информацию о жизненно важных показателях, мышечной активности и биомеханике, а генная терапия может восстанавливать повреждённые ткани или укреплять иммунную систему.

Приоритетными направлениями будущих исследований в этой области следует считать:

– Рандомизированные исследования с долгосрочным наблюдением за влиянием носимых систем на частоту и структуру травматизма.

– Изучение нейробиологических механизмов хронобиологических подходов.

– Оценка сравнительной эффективности различных вариантов природоподобных технологий на кортах различных спортивных специализаций.

– Стандартизация терминологии и классификаций.

Таблица 2

Сводные данные об эффектах природоподобных технологий на компоненты функциональной готовности
Summary of the effects of nature-like technologies on functional readiness components

Категория	Аналог в живой природе	Область применения в спортивной медицине
Биомиметика	Структуры и материалы живых организмов	Спортивные костюмы, обувь, снаряжение
Бионика	Функциональные механизмы биосистем	Экзоскелеты, протезы, нейроинтерфейсы
Экофизиологические принципы адаптации	Механизмы гипоксической и температурной адаптации	Высотная и термальная подготовка
Хронобиологические технологии	Циркадные ритмы	Управление восстановлением, режимом сна
Регенеративные биотехнологии	Тканевая инженерия, стволовые клетки	Реабилитация после травм
Биосенсорика	Сенсорные системы животных	Носимые системы мониторинга

Внедрение природоподобных технологий рекомендуется осуществлять в соответствии с уровнем принципом классификации лиц, занимающихся спортом.

Уровень I – базовый (доступен всем): носимые биосенсоры, хронобиологические протоколы сна/восстановления, функциональная обувь с элементами упругого возврата.

Уровень II – специализированный (профессиональные клубы, сборные команды): гипоксические камеры, криотерапия, биомиметическая компрессионная экипировка.

Уровень III – инновационный (элитный спорт): 3D-биопечать тканей, экзоскелетные ассистирующие устройства, ИИ-управляемые предиктивные системы.

Генетическое профилирование позволит понять уникальную генетическую предрасположенность спортсменов, включая состав мышечных волокон, скорость восстановления и восприимчивость к определённым травмам; эта информация может быть использована для создания индивидуальных планов тренировок и реабилитации.

Носимые сенсорные устройства позволяют отслеживать множество данных: количество шагов, давление стопы, изменение направления и наклона, смещение и скорость сегментов тела и суставов, частоту сердечных сокращений, специфическую кинематику, амплитуду движений, симметрию.

Вместе с тем, значимой этической проблемой является вопрос согласия и осведомлённости спортсменов, так как многие методы могут иметь долгосрочные последствия для здоровья, которые не всегда полностью изучены [12].

Также одной из главных проблем является угроза справедливости и равенства в соревнова-

ниях: если некоторым спортсменам доступны передовые биотехнологии, а другим – нет, это создаёт неравные условия, что противоречит принципам честной игры, и такие ситуации могут привести к дискриминации на основе экономических возможностей.

Выводы

Таким образом, использование природоподобных технологий в целях повышения функциональной готовности высококвалифицированных спортсменов является перспективным направлением. Систематический анализ 73 исследований и 14 обзорных работ позволяет утверждать следующее:

1. Наибольший уровень доказательности имеют гипоксические методы тренировки (+1,6–2,9% МПК), использование углеродных пластин в беговой обуви (– 4–6% метаболических затрат) и носимых биосенсоров (снижение травматизма на 20–30%).

2. Умеренный уровень доказательности имеют биомиметические плавательные костюмы, криотерапия и хронобиологические методы управления восстановлением спортсменов.

3. Невысокая доказательность характерна для экзоскелетных технологий с упругим возвратом, 3D-биопечати тканей и ряда регенеративных подходов.

4. Внедрение природоподобных технологий требует комплексного учёта не только их физиологической эффективности, но и вопросов безопасности, этики, индивидуализации и равенства доступа.

5. Развитие данного направления создаёт предпосылку для унификации терминологии, разработки стандартизованных протоколов применения и проведения масштабных многоцентровых исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Об основных принципах и приоритетных направлениях развития природоподобных технологий в Российской Федерации (вместе с «Основными принципами и критериями отнесения технологий к природоподобным», «Планом мероприятий, направленных на развитие природоподобных технологий в Российской Федерации на 2026 - 2028 годы»): Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2026 г. №337-р.
2. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Чернышев С.В. Медико-биологические технологии в управлении тренировочным процессом и соревновательной деятельности спортсменов высшей квалификации // Вестник спортивной науки. 2015. №3. С. 34–37.
3. Tai W.H., Zhang R., Zhao L. Cutting-Edge Research in Sports Biomechanics: From Basic Science to Applied Technology // Bioengineering (Basel). 2023 Jun 1. V.10. No.6. P. 668.
4. URL: <https://illumina.usc.edu/from-shark-skin-to-speed/>.
5. Wen L., Weaver J.C., Lauder G.V. Biomimetic Shark Skin: Design, Fabrication and Hydrodynamic Function // Journal of Experimental Biology. 2014;217;10:1656–1666.
6. Rebelo A., Martinho D.V., Valente-Dos-Santos J., Coelho-E-Silva M.J., Teixeira D.S. From Data to Action: a Scoping Review of Wearable Technologies and Biomechanical Assessments Informing Injury Prevention Strategies in Sport // BMC Sports Sci Med Rehabil. 2023. V.15. No.1. P. 169. Doi:10.1186/s13102-023-00783-4.
7. Guppy F., Muniz-Pardos B., Angeloudis K., Grivas G.V., Pitsiladis A., Bundy R., Zelenkova I., Tanisawa K., Akiyama H., Keramitsoglou I., Miller M., Knopp M., Schweizer F., Luckfiel T., Ruiz D., Racinais S., Pitsiladis Y. Technology Innovation and Guardrails in Elite Sport: The Future is Now // Sports Med. 2023 Dec. V.53. Suppl 1. P. 97–113. Doi: 10.1007/s40279-02301913-1.
8. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте: Монография / Под ред. акад. РАН А.И.Григорьева. М.: Спорт, Человек, 2018. 320 с.
9. Bonetti D.L., Hopkins W.G. Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia: A Meta-Analysis // Sports Medicine. 2009;39;2:107–127.
10. Эскандар К. Развитие 3D-биопечати: от органов до персонализированной медицины // Пациентоориентированная медицина и фармация. 2025. Т.3. №1. С. 6–15. Doi: 10.37489/2949-1924-0075.
11. Souaifi M., Dhahbi W., Jebabli N., Ceylan H.I., Boujabli M., Muntean R.I., Dergaa I. Artificial Intelligence in Sports Biomechanics: A Scoping Review on Wearable Technology, Motion Analysis, and Injury Prevention // Bioengineering (Basel). 2025 Aug 20. V.12. No.8. P. 887. Doi: 10.3390/bioengineering12080887.
12. Плецов И. Е., Николенко В.Н., Ачкасов Е.Е., Шкрёбо А.Н. Этические аспекты спортивной генетики: вызовы и решения // Медицинская этика. 2025. №3. С. 31–35. Doi: 10.24075/medet.2025.013.

REFERENCES

1. On the Basic Principles and Criteria for Classifying Technologies as Nature-Like, Priority Areas for the Development of Nature-Like Technologies in the Russian Federation, and the Action Plan Aimed at Developing Nature-Like Technologies in the Russian Federation for 2026–2028. Order of the Government of the Russian Federation No.337-r of February 21, 2026 (In Russ.).
2. Fudin N.A., Khadartsev A.A., Chernyshev S.V. Medical and Biological Technologies in Managing the Training Process and Competitive Activities of Highly Qualified Athletes. *Vestnik Sportivnoy Nauki* = Sports Science Bulletin. 2015;3:34–37 (In Russ.).
3. Tai W.H., Zhang R., Zhao L. Cutting-Edge Research in Sports Biomechanics: From Basic Science to Applied Technology. *Bioengineering* (Basel). 2023 Jun 1;10;6:668.
4. URL: <https://illuminate.usc.edu/from-shark-skin-to-speed/>.
5. Wen L., Weaver J.C., Lauder G.V. Biomimetic Shark Skin: Design, Fabrication and Hydrodynamic Function. *Journal of Experimental Biology*. 2014;217;10:1656–1666.
6. Rebelo A., Martinho D.V., Valente-Dos-Santos J., Coelho-E-Silva M.J., Teixeira D.S. From Data to Action: a Scoping Review of Wearable Technologies and Biomechanical Assessments Informing Injury Prevention Strategies in Sport. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2023;15;1:169. Doi: 10.1186/s13102-023-00783-4.
7. Guppy F., Muniz-Pardos B., Angeloudis K., Grivas G.V., Pitsiladis A., Bundy R., Zelenkova I., Tanisawa K., Akiyama H., Keramitsoglou I., Miller M., Knopp M., Schweizer F., Luckfiel T., Ruiz D., Racinais S., Pitsiladis Y. Technology Innovation and Guardrails in Elite Sport: The Future is Now. *Sports Med*. 2023 Dec;53;Suppl 1:97–113. Doi: 10.1007/s40279-023-01913-1.
8. Fudin N.A., Khadartsev A.A., Orlov V.A. *Mediko-Biologicheskiye Tekhnologii v Fizicheskoy Kul'ture i Sporte* = Medical and Biological Technologies in Physical Education and Sports. Monograph. Ed. A.I. Grigor'yev. Moscow, Sport, Chelovek Publ., 2018. 320 p. (In Russ.).
9. Bonetti D.L., Hopkins W.G. Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2009;39;2:107–127.
10. Eskandar K. Development of 3D Bioprinting: from Organs to Personalized Medicine. *Patsiyentooriyentirovannaya Meditsina i Farmatsiya* = Patient-Oriented Medicine and Pharmacy. 2025;3;1:6–15 Doi: 10.37489/2949-1924-0075. (In Russ.).
11. Souaifi M., Dhahbi W., Jebabli N., Ceylan H.İ., Boujabli M., Muntean R.I., Dergaa I. Artificial Intelligence in Sports Biomechanics: A Scoping Review on Wearable Technology, Motion Analysis, and Injury Prevention. *Bioengineering* (Basel). 2025 Aug 20;12;8:887. Doi: 10.3390/bioengineering12080887.
12. Pleshchov I.Ye., Nikolenko V.N., Achkasov Ye.Ye., Shkrebko A.N. Ethical Aspects of Sports Genetics: Challenges and Solutions. *Meditsinskaya Etika* = Medical Ethics. 2025;3:31–35 (In Russ.). Doi: 10.24075/medet.2025.013.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 18.02.2026. **Принята к публикации:** 09.03.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 18.02.2026. **Accepted for publication:** 09.03.2026