Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_33
УДК 61:796/799

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_33
UDC 61:796/799

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ (ОБЗОР)

А.С. Самойлов, В.В. Петрова, П.А. Шулепов
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна», г. Москва, Россия

Аннотация. Прогностические (в том числе риск-ориентированные) модели в спортивной науке могут включать в себя разнообразные подходы и методики, созданные для анализа клинических данных, их оценки с точки зрения спортивной и восстановительной медицины, контроля уровня физических нагрузок в течение тренировочного или восстановительного периодов, а также предсказания результатов, связанных с достижениями в спорте. Целью настоящего обзора является определение перспектив и возможностей существующих исследований и методов, используемых для оценки уровня спортивной готовности, прогнозирования и ранней профилактики травматизма профессиональных спортсменов для повышения качества принятия решений в спортивной медицине.

Ключевые слова: математическая модель, спорт высших достижений, физическая работоспособность, контроль уровня нагрузок, прогноз, риск-ориентированный подход.

APPROACHES OF MATHEMATICAL MODELS DEVELOPMENT FOR FORECASTING, ASSESSING AND MONITORING PHYSICAL PERFORMANCE OF ATHLETES (REVIEW)

A.S. Samojlov, V.V. Petrova, P.A. Shulepov
State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Abstract. Predictive (including risk-oriented) models in sports science may include a variety of approaches and methods developed for the analysis of clinical data, their assessment from the point of view of sports and rehabilitation medicine, monitoring the level of physical activity during training or recovery periods, as well as predicting sports results. The purpose of this review is to identify the prospects and capabilities of existing studies and methods used to assess the level of sports achievements, predict and early prevent injuries in professional athletes to improve the quality of decision-making in sports medicine.

Keywords: mathematical model, high-performance sports, physical performance, physical activity level control, forecast, risk-oriented approach.

Введение. Создание математических моделей для прогнозирования, оценки и контроля физиологических показателей профессиональных спортсменов имеет долгую историю, тесно связанную как с развитием спорта, так и с прогрессом в аналитических методах.

В 1980-х годах спортивные физиологи и тренеры обратили внимание на значительный прогресс в женских марафонских дистанциях по сравнению с мужскими, где результаты улучшались медленнее. В экспертном сообществе были выдвинуты две гипотезы: первая предполагала, что женщины могут превзойти мужчин в беге на длинные дистанции, например, в марафоне на 42,2 километра; вторая – что динамика спортивных достижений нелинейна. Однако последующие исследования показали, что такая экстраполяция данных и прогнозирование могут быть ошибочными [1].

В настоящее время для анализа и прогнозирования спортивной результативности используются достижения статистического моделирования, что трансформировало подходы и методологии исследований в этой области по всему миру. Исторически спортивная наука опиралась на традиционные статистические методы, но недавние инновации привнесли более сложные модели, такие как алгоритмы машинного обучения и иерархическое моделирование. Эти инструменты позволяют исследователям выявлять сложные взаимосвязи в медицинских и

спортивных данных, способствуя более глубокому пониманию предикторов снижения работоспособности и оптимизации тренировочных стратегий [2, 3].

Научные исследования в этой области в основном были направлены на понимание индивидуальных и общих тенденций в динамике показателей общей и специфической физической работоспособности. Например, исследования беговой деятельности спортсменов проводились в трех направлениях: объяснение физиологических предпосылок достижения мировых рекордов, разработка систем подсчета и прогноза результатов забега, а также моделирование индивидуальных физиологических параметров организма легкоатлета. Несмотря на эти работы, комплексная модель, которая могла бы охватить и сопоставить все эти аспекты, до недавнего времени оставалась недостижимой целью, что подчеркивает существенный пробел в исследовательской деятельности.

С другой стороны, интеграция и анализ больших объемов данных повышают точность прогнозов результативности в спорте. Например, исследование, основанное на онлайн-базе данных о выступлениях британских спортсменов с 1954 по 2013 год, позволило создать простую модель, охватывающую ключевые характеристики достигнутых результатов каждого спортсмена, сохраняя эмпирическую закономерность. Эта модель показала низкую среднюю ошибку прогнозирования достижения определенного результата, что стало важным шагом к объединению понимания спортивных достижений через анализ данных [4].

Анализ исследований, посвященных разработке и применению прогностических математических моделей в спортивной медицине и спорте, опубликованных за последние 10 лет, показывает, что большинство из них сосредоточены либо на прогнозе травматизма в различных видах спорта, либо на прогнозе достижения запланированного результата. Исследования, направленные на поиск взаимосвязей между наличием (отсутствием) диагнозов у спортсменов высокого класса и их влиянием на снижение показателей физической работоспособности, не обнаружены.

С развитием исследований в области нейросетей и машинного обучения многие ученые, включая международные коллективы, объединяют усилия для изучения взаимодействия физиологических и психологических факторов, влияющих на спортивные достижения. При этом целью является оптимизация тренировочных режимов посредством использования прогностических моделей, способных учитывать динамическую природу спортивных результатов и поиск их взаимосвязи с физиологическими процессами в организме спортсмена.

Методы и организация исследования. Исследование включало в себя анализ литературных источников по теме разработки и использования прогностических математических моделей в медицине, физиологии и спортивной медицине. Поиск источников включал в себя ключевые слова «математическая модель», «спорт высших достижений», «физиология», «физическая работоспособность» и проводился по электронным базам данных: реферативная база PubMed на сайте www.pubmed.com, фонды ЦНМБ ММА им. И.М. Сеченова на сайте www.scsml.rssi.ru, РГБ на сайте www.rsl.ru; www.medline.ru; www.elibrary.ru; сеть Интернет.

Результаты исследования и их обсуждение. *Разновидности прогностических моделей.* Прогностические (в том числе риск-ориентированные) модели в спортивной науке могут включать в себя разнообразные подходы и методы, созданные как для анализа клинических данных, так и для предсказания результатов, связанных с достижениями в спорте [5]. Эти модели могут быть классифицированы в зависимости от используемой методологии, типа данных или приложения в конкретных сферах спортивной деятельности.

Классификация прогностических моделей по используемой методологии. В основе прогностического моделирования лежит использование 2-х методологий: статистические алгоритмы и методы машинного обучения. Эти подходы применяются для выявления закономерностей, тенденций и взаимосвязей в обширных массивах данных, включающих текущую статистику спортсменов в конкретном соревновании,

предыдущие результаты спортсмена или исследуемого вида спорта в целом, а также набор физиологических показателей, снятых единоразово или наблюдаемых в динамике. Используя эти методы, разрабатываются предиктивные модели, способные выдвигать предположения относительно будущих результатов, будь то исход игр (в игровых видах спорта), достигаемый результат спортсмена (в индивидуальных видах спорта) и вероятность получения травмы того или иного спортсмена.

Алгоритмы статистического анализа являются уже классическими и давно используются в спортивном анализе, включая такие методы, как регрессионный анализ и анализ временных рядов. Модели на этой основе оказываются весьма полезными для мониторинга спортивных достижений конкретных атлетов с течением времени, что позволяет выявлять тенденции, сигнализирующие о периодах повышенного риска получения травм или снижения их результативности.

Недавние успехи в области машинного обучения позволили расширить методологические подходы, которые реализовались в таких методах как «дерево решений», «случайный лес» и «нейронные сети». Эти новые алгоритмы способны выявлять в данных сложные закономерности, которые ускользают при применении традиционных методов, что обеспечивает более точные прогнозы спортивных достижений и вероятности травм. Внедрение этих передовых моделей предоставляет спортивным специалистам возможность принимать решения, основанные на объективных данных, что может оказать положительное влияние на существующие тренировочные стратегии и скорректировать управление состоянием здоровья спортсменов [6].

Классификация прогностических моделей по предметной области. Существующие прогностические модели в профессиональном спорте (исключая тотализаторы и букмекеров) используются либо для прогнозирования получения травм, либо для прогнозирования достигаемых спортивных результатов.

Модели прогнозирования травм концентрируются на анализе разнообразных источников данных, таких как показатели физической работоспособности спортсменов, их биомеханические параметры и данные о полученных ранее травмах, чтобы оценить и минимизировать риски. Изучая закономерности прошлых травм и связанные с ними факторы, эти модели способны предложить тренерам и спортивным врачам ценные рекомендации в целях охраны здоровья спортсменов.

Модели прогнозирования параметров физической работоспособности направлены на предсказание будущих достижений спортсмена, опираясь как на его текущие, так и на прошлые данные. Помимо прямых данных физической работоспособности они включают в себя анализ интенсивности тренировок и внешних факторов, таких как погодные условия и ответные физиологические реакции спортсмена. Полученные прогнозы способствуют созданию оптимальных тренировочных стратегий и постановке более реалистичных целей достигаемых параметров физической работоспособности как на тренировке, так и во время проведения ответственных соревнований [7].

Классификация моделей по разновидности входных данных. Эффективность прогностических моделей в значительной мере определяется качеством, полнотой и корректностью собранных данных. Данные, используемые в моделях, подразделяются по следующим типам:

1. Показатели, оценивающие физическую работоспособность спортсмена, включая показатели сердечно-сосудистой системы, а также информацию об интенсивности, продолжительности и частоте тренировок [8].

2. Биомеханические параметры фаз движения в упражнении спортсменов, включающие данные, полученные при фото- или видеозахвате в процессе тренировок и соревнований.

3. Анамнез травм, охватывающий данные о предыдущих травмах, включая степень повреждения и сроки восстановления.

Используя разнообразные наборы данных и применяя различные методы прогностического моделирования, исследователи могут значительно углубить свое

понимание принципов спортивных достижений, что, в свою очередь, способствует совершенствованию тренировочных методик и стратегий предотвращения травм [9, 10].

Параметры физической работоспособности. Понимание ключевых параметров физической работоспособности играет решающее значение для раскрытия спортивного потенциала и увеличения вероятности достижения призового места на спортивных соревнованиях. К числу наиболее важных параметров относятся сила, мощность, скорость, ловкость и выносливость, каждый из которых вносит значительный вклад в итоговые результаты выступлений спортсмена [11].

Сила является фундаментом спортивных достижений, лежа в основе любой атлетической деятельности. Исследования показывают, что в различных нагрузочных тестах как абсолютные показатели максимальной силы, так и относительные показатели силы в соотношении с массой тела имеют положительную корреляцию с результатами в беге и общей физической работоспособностью [12, 13].

Силовые тренировки не только необходимы для повышения физической работоспособности, но также применяются в целях предотвращения травм и назначении программ восстановления, что подчеркивает их значимость в спортивной подготовке.

Было доказано, что силовые тренировки с высокой нагрузкой и малым числом повторений в долгосрочной перспективе приносят пользу в том числе и спортсменам циклических видов спорта, тренирующих выносливость, что свидетельствует о применимости силовых упражнений в различных видах спорта [14].

Выносливость определяется способностью организма поддерживать напряженную физическую активность на протяжении длительных периодов. В первую очередь она оценивается через показатель максимального потребления кислорода (МПК или VO_{2max}), который отражает способность спортсмена к аэробным нагрузкам.

Высокие показатели VO_{2max} в сочетании с минимальными затратами энергии, которые можно рассчитать, используя формулы основного обмена, служат надежными предикторами успеха в видах спорта на выносливость, таких как бег на длинные дистанции [15].

Тренировочные программы, направленные на повышение выносливости, как правило, включают комбинацию аэробных нагрузок и специализированных силовых тренировок. Это способствует улучшению как общей, так и специфической работоспособности, необходимых для достижения высоких результатов.

Параметр «скорость» показывает быстроту движения, необходимую спортсменам для достижения наилучших результатов в разнообразных спортивных дисциплинах. Ловкость, или способность мгновенно изменять направление движения, сохраняя при этом контроль, объединяет в себе скорость с равновесием и координацией, что делает ее критически важным элементом во многих видах спорта.

При полной оценке физической работоспособности тесты на скорость и ловкость являются обязательным компонентом, который позволяют выявить сильные и слабые стороны спортсмена, направляя разработку персонализированных тренировочных программ на совершенствование данных качеств.

Мощность, понимаемая как способность вырабатывать максимальную силу в кратчайшие сроки, является еще одним ключевым показателем физической работоспособности. Она приобретает особое значение в спортивных дисциплинах, требующих кратковременных, но интенсивных выбросов энергии, таких как легкая атлетика или командные виды спорта, например, футбол и баскетбол [16].

Тренировки, направленные на развитие мощностных качеств спортсмена, с использованием таких методов, как взрывные и плиометрические упражнения, могут значительно повысить работоспособность. Спортсмены могут увеличить свою мощность, акцентируя внимание на скорости выполнения движений, а не только на сокращении мышц, что способствует более эффективному вовлечению быстро сокращающихся мышечных волокон [17].

Практическое применение прогностических моделей. Развитие прогностических математических моделей значительно расширило горизонты возможностей для создания персонализированных тренировочных программ для спортсменов. Традиционные тренерские установки по типу «одна методика на всех» часто не удовлетворяли разнообразные потребности отдельных спортсменов, что вызвало растущий спрос на более индивидуальные решения. Генеративно-состязательные сети (GAN) (алгоритмы машинного обучения без учителя) стали надежной основой для разработки контекстно-зависимых тренировочных программ. Они интегрируют количественные физиологические параметры, такие как возраст и частота сердечных сокращений, с характеристиками и параметрами движений спортсмена, зафиксированных с помощью систем видеоанализа.

Такой подход не только позволяет создавать индивидуальные тренировочные планы по изучению правильных движений, но и обеспечивает дальнейшее их совершенствование через постоянный процесс повторений путем соревнования спортсмена с самим собой.

Инструменты и приложения на основе искусственного интеллекта произвели настоящую революцию в сфере игровых видов спорта, предоставляя возможность тренировок с биологически обратной связью в реальном времени. Используя алгоритмы машинного обучения, эти инновационные инструменты на основе видеоанализа и носимых датчиков способны анализировать многомерные данные, включая физиологические показатели, чтобы динамично корректировать тренировочную нагрузку прямо во время тренировки в соответствии с индивидуальными потребностями спортсменов. К примеру, такие тренировочные системы как Athletica и WIMU SVIVO предоставляют мгновенную обратную связь по результатам выступлений спортсмена, позволяя в реальном времени корректировать интенсивность тренировок [18].

Такая возможность оперативных изменений имеет неоценимое значение для тренера при принятии решений касательно тренировочного процесса и спортивного врача при назначении поддерживающей терапии в целях снижения риска получения травм.

Тактика использования прогностических моделей управления рисками получения травм нашла свое применение в космической и авиационной медицине, где помимо физиологических факторов, необходимо учитывать риски отказа критического оборудования системы жизнеобеспечения полета [19-21].

В спорте подобная тактика наиболее применима в легкой атлетике, где травмирование спортсмена чаще всего происходит не от случайных факторов, таких, например, как столкновение с другими спортсменами на игровом поле в игровых видах спорта, а в строгой зависимости от достигнутых показателей физической работоспособности. Чем выше процент используемых резервов организма, тем выше вероятность получения травмы. Используя передовые модели машинного обучения, такие как деревья решений и нейронные сети, исследователи могут оценивать вероятность травм с беспрецедентной точностью [22].

Мониторинг разнообразных показателей, включая достигнутый уровень физической нагрузки, время дальнейшего восстановления и затраченные в процессе реабилитационно-восстановительного лечения энергетические траты спортсмена, позволяет выявлять закономерности и потенциальные факторы риска. Общепопуляционные сведения о величинах основного обмена (ВОО), в зависимости от пола, возраста и массы тела приведены в методических рекомендациях «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации, 2021 г.». Помимо того, что ВОО спортсменов отличается от общепопуляционных значений в сторону увеличения, в период острой травмы и начальных этапов медицинской реабилитации, ввиду вынужденной продолжительной гиподинамии эта величина может разительно снижаться, в то время как в период спортивной реабилитации при повышенном объеме тренировочных нагрузок ВОО увеличивается, так

как интенсивность обмена веществ при этом значительно повышается [23]. Эти риски могут быть устранены посредством целенаправленных вмешательств как тренера, так и спортивного врача. Таким образом, отслеживая изменения в основном обмене (например, с помощью методики непрямой калориметрии) и динамику морфофункциональных показателей спортсмена (например, таких как индекс массы тела; окружности плеча, бедра и голени; толщина жировой складки на задней и внутренней поверхности плеча, бедра и голени, а также в области живота) возможно варьировать мышечную нагрузку, снижая вероятность развития соматических осложнений, локомоторной перегрузки в процессе реабилитационных мероприятий и возникновения риска повторного получения травмы.

Кроме того, алгоритмы искусственного интеллекта анализируют биомеханические данные для проактивного выявления потенциальных травм, что способствует своевременному медицинскому вмешательству и предотвращению повреждений до их возникновения.

Внедрение прогностических моделей и инструментов искусственного интеллекта способствовало повышению вовлеченности спортсменов не только в достижение результата на ответственных соревнованиях, но и в тренировочный процесс, предоставляя им доступ к своим данным о достигнутых физиологических показателях и отчетах об их изменениях в динамике. Это чувство причастности добавляет элемент к мотивации и позволяет спортсменам следить за улучшениями, осознавать свои сильные и слабые стороны и активно участвовать в тренировочном процессе наравне с тренером и спортивным врачом.

Практические примеры с участием элитных марафонцев и профессиональных футбольных команд наглядно демонстрируют эффективность ИИ в оптимизации тренировочного процесса и снижении уровня травматизма посредством использования полученных аналитических данных [24].

Слабые стороны и ограничения прогностических моделей. Разработка прогностических математических моделей для оценки параметров физической работоспособности спортсменов сопряжено с рядом значительных вызовов и ограничений.

Одним из главных препятствий являются методологические трудности, связанные с применением новых технологий. Исследователи должны тщательно планировать размещение датчиков, чтобы обеспечить точность и надежность измерений. Кроме того, объединение нескольких массивов данных в единую структуру порождает сложные задачи в их управлении и дальнейшей обработке, которые могут оказать влияние на итоговую интерпретацию результатов.

Дополнительные сложности вызывает достоверность и обоснованность полученных данных. Исследования свидетельствуют о том, что во многих опубликованных научных работах отсутствует скрупулезный анализ надежности, а значительная часть из них не предоставляет сведений о таких оценках. Этот недостаток вызывает озабоченность, поскольку такие факторы, как ошибки при ручном вводе данных и недостаточная квалификация наблюдателей, могут негативно сказаться на надежности систем обозначений. В результате могут быть сделаны ошибочные выводы и приняты некорректные решения относительно выбора тренировочных стратегий повышения физической работоспособности [25].

Другое существенное ограничение связано с качеством данных, используемых в предиктивном моделировании. Данные низкого качества, в которых существуют неточности, или в которых присутствует неполнота и предвзятость, напрямую влияют на эффективность моделей искусственного интеллекта и машинного обучения. Неточные или неполные наборы данных могут привести к ошибочным прогнозам и решениям, что ставит под угрозу надежность модели и доверие заинтересованных сторон к ее выводам. Для обеспечения достоверных прогностических результатов необходимо применять эффективные методы оценки качества данных, такие как анализ точности, полноты, согласованности и релевантности. Высококачественные данные играют важнейшую роль в выявлении закономерностей и составлении точных прогнозов, тогда как

данные низкого качества могут снизить производительность модели и увеличить риск ошибок.

Для преодоления этих вызовов крайне важно наладить междисциплинарное сотрудничество между учеными-исследователями, специалистами по анализу данных и инженерами по искусственному интеллекту. Успех такого сотрудничества зависит от четкой коммуникации и взаимного уважения методологий каждой из дисциплин. Исследователи должны разбираться в основах искусственного интеллекта для корректной интерпретации результатов, тогда как инженеры по искусственному интеллекту должны учитывать особенности физиологических и спортивных данных. Неспособность создать надежные междисциплинарные структуры может привести к тому, что приложения искусственного интеллекта несмотря на их техническую надежность окажутся непрактичными или чрезмерно упрощенными для уникальных задач спорта высших достижений и спортивной медицины.

Заключение. Внедрение предиктивной аналитики и передовых технологий в спортивную сферу открывает путь к кардинальным изменениям в оценке физической работоспособности спортсменов, их здоровья и предотвращения травматизма. С развитием технологий расширяются возможности предиктивной аналитики, что позволяет глубже понимать как механику достижения высоких спортивных результатов, так и процессы поддержания оптимального состояния здоровья. Сочетание носимых технологий, машинного обучения и визуализации данных должно произвести настоящую революцию в методах сбора и анализа данных в спорте.

Будущие достижения в области предиктивного моделирования, вероятно, будут использовать алгоритмы машинного обучения для повышения точности прогнозов достигаемых параметров физической работоспособности и расчетов риска получения травм. Благодаря внедрению более широкого спектра источников данных, таких как биометрические датчики, видеосистемы отслеживания перемещений игроков и детализация условий окружающей среды, эти модели смогут предоставлять более комплексные рекомендации, которые будут учитывать всю сложность и специфичность конкретных видов спорта. Например, анализ данных, собираемых с носимых устройств в режиме реального времени, может помочь не только предсказывать возможные травмы, но и оптимизировать тренировочные нагрузки, предотвращая перегрузку и перенапряжение.

По мере того как объем генерируемых данных продолжает увеличиваться, эффективные методы управления данными и их очистки будут приобретать все большее значение. Применение передовых методов очистки данных обеспечит построение предиктивных моделей на основе высококачественных наборов данных, что позволит минимизировать искажения и неточности. Разработка автоматизированных протоколов сбора данных и усовершенствованных процессов их маркировки еще больше укрепит надежность предиктивной аналитики [26].

Роль инструментов визуализации данных в спортивной аналитике невозможно переоценить. Будущие инновации в этой области упростят выявление закономерностей и тенденций в сложных наборах данных, что позволит тренерам и спортивным менеджерам принимать взвешенные решения на основе всестороннего анализа.

Поскольку различные спортивные команды и организации все активнее внедряют эти технологии, формирование культуры принятия решений на основе данных становится важной тенденцией. Это включает в себя не только обучение персонала навыкам анализа данных, но и поощрение тесного сотрудничества между специалистами по сбору данных, тренерским и медицинским штабами, чтобы гарантировать эффективное применение возникающих идей на практике [27].

Внедряя прогностическую аналитику в спорт высших достижений, спортивные сборные команды могут опережать конкурентов и повышать общий уровень здоровья, физической работоспособности и общей удовлетворенности спортсменов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MacIntosh, B.R. Physiological Determinants of Athletic Performance / B.R. MacIntosh, J.R. Fletcher // Open Textbook of Exercise Physiology. – 2024.
2. Editorial: New technologies and statistical models applied to sports and exercise science research: methodological, technical and practical considerations / D. Rojas-Valverde, M.A. Gómez-Ruano, S.J. Ibañez, P.T. Nikolaidis // Front. Sports Act. Living. – 2023. – No. 5. DOI: 10.3389/fspor.2023.1267548.
3. Blythe, D.A.J. Prediction and Quantification of Individual Athletic Performance of Runners / D.A.J. Blythe, F.J. Király // PLOS ONE. – 2016. – No. 11(6). DOI: 10.1371/journal.pone.0157257.
4. Le Hyaric, A. Modelling the optimization of world-class 400 m and 1,500 m running performances using high-resolution data / A. Le Hyaric, A. Aftalion, B. Hanley // Front. Sports Act. Living. – 2024. – No. 6. DOI: 10.3389/fspor.2024.1293145.
5. Бахмейер, М. Профессиональные риски в спорте высших достижений / М. Бехмейер, А.В. Смоленский, О.А. Митюшкина // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – № 3(2-1). URL: http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5208.pdf (дата обращения: 01.02.2025). DOI: 10.12737/12131.
6. Predictive and Cross-Validation Analysis of Aerobic and Anaerobic Performance Based on Maximum Strength / A.S. Sá Filho, P.A. Inacio, V. Aprigliano [et al.] // Applied Sciences. – 2025. – No. 15(2). – P. 693. DOI: 10.3390/app15020693.
7. Chen, J.Y. Decoding the Game: Forecasting NBA Champions with Neural Network Algorithms // Bruin Sports Analytics. – 2023. – URL: https://www.bruinsportsanalytics.com/post/nba-champs-neural-network (дата обращения: 01.02.2025).
8. Мазитова, Г.И. Роль исследования гемодинамических характеристик покоя в прогнозе физической работоспособности / Г.И. Мазитова // Теория и практика физической культуры. – 2008. – № 1. – С.83-85.
9. Петрова, В.В. Прогноз физической работоспособности по показателям комплексной оценки состояния спортсменов / В.В. Петрова, А.А. Киш, М.А. Брагин // Медицинская наука и образование Урала. – 2019. – Т. 20. – № 1(97). – С. 155-159.
10. Анализ существующих методов оценки психологического состояния спортсмена для выявления наиболее информативных показателей, влияющих на его результативность / В.В. Петрова, С.Е. Назарян, А.А. Киш [и др.] // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. – 2017. – № 9. – С. 43-56.
11. Фудин, Н.А. Медико-биологическое обеспечение физической культуры и спорта высших достижений / Н.А. Фудин, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – № 1. – С. 149-150.
12. Matt Wattles. Sports Performance Metrics: Why the Numbers Matter! // Competitive Edge. – 2019. – URL: https://edgemeridian.com/sports-performance-metrics (дата обращения: 01.02.2025).
13. Rubén Redondo Sánchez. How To Know the Key Performance Indicators in Sport // Vitruve. – 2021. – URL: https://vitruve.fit/blog/how-to-know-the-key-performance-indicators-in-sport (дата обращения: 01.02.2025).
14. Бадтиева, В.А. Спортивная кардиология. Руководство для кардиологов, педиатров, врачей функциональной диагностики и спортивной медицины, тренеров / В.А. Бадтиева, А.С. Шарыкин, В.И. Павлов. – М.: ИКАР, 2017. – 328 с.
15. Гаврилова, Е.А. Клинические и экспертные вопросы электрокардиографии в спортивной медицине: монография / Е.А. Гаврилова. – Москва: Издательство «Спорт», 2019. – 272 с.
16. Tan, J. Generating context-specific sports training plans by combining generative adversarial networks / J. Tan, J. Chen // PLOS ONE. – 2025. – No. 20(1). – P. e0318321. DOI: 10.1371/journal.pone.0318321.
17. Спортивная медицина: национальное руководство / под ред. акад. РАН и РАМН С.П. Миронова, проф. Б.А. Поляева, проф. Г.А. Макаровой. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 1184 с.
18. Empowering the Sports Scientist with Artificial Intelligence in Training, Performance, and Health Management / N. Mateus, E. Abade, D. Coutinho [et al.] // Sensors. – 2025. – No. 25(1). – P. 139. DOI: 10.3390/s25010139.
19. Праскурничий, Е.А. Медицинские и авиамедицинские риски безопасности полетов: монография / Е.А. Проскурничий. – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2021. – 192 с.
20. Авиамедицинские аспекты управления факторами риска для безопасности полетов / Е.А. Праскурничий, В.В. Книга, А.Г. Быстрова, В.Д. Юстова // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50(2). – С. 21-27.
21. Праскурничий, Е.А. Методология оценки сердечно-сосудистого риска у летного состава гражданской авиации / Е.А. Праскурничий, В.Д. Юстова // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54(5). – С. 50-56.
22. Kyte, J. Ensuring Reliability and Validity in Sports Performance Analysis / J. Kyte // Graduate

School of Sport and Professional Practice. – 2023. – URL: https://blog.bham.ac.uk/gsspp-blog/2023/09/14/ensuring-reliability-and-validity-in-sports-performance-analysis (дата обращения: 01.02.2025).
23. Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор / В.А. Бадтиева, Д.Б. Никитюк, Е.А. Рожкова [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 96-104.
24. Zukiewicz, P. Estimating NBA in-game win probability with a (not so) deep neural network / P. Zukiewicz // Medium. – 2023. – URL: https://medium.com/@zukiewicz.piotr/estimating-nba-in-game-win-probability-with-a-not-so-deep-neural-network-f6731a2e0ea9 (дата обращения: 01.02.2025).
25. Измеров, Н.Ф. Оценка профессиональных рисков для здоровья в системе доказательной медицины / Н.Ф. Измеров, И.В. Бухтияров, Э.И. Денисов // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2016. –№1.–С.14-20.
26. Whitehead, R. The impact of data analytics on the sporting world / R. Whitehead // The Institute of Analytics. – 2024. – URL: https://ioaglobal.org/blog/impact-of-data-analyitcs-on-sports/ (дата обращения: 01.02.2025)
27. Integration of machine learning XGBoost and SHAP models for NBA game outcome prediction and quantitative analysis methodology / Y. Ouyang, X. Li, W. Zhou, W. Hong, W. Zheng [et al.] // PLOS ONE. – 2024. – No. 19(7). – P. e0307478. DOI: 10.1371/journal.pone.0307478.

REFERENCES

1. MacIntosh B.R., Fletcher J.R. Physiological Determinants of Athletic Performance. *Open Textbook of Exercise Physiology*, 2024.
2. Rojas-Valverde D., Gómez-Ruano M.A., Ibañez S.J., Nikolaidis P.T. Editorial: New technologies and statistical models applied to sports and exercise science research: methodological, technical and practical considerations. *Front. Sports Act. Living*, 2023, no. 5. DOI: 10.3389/fspor.2023.1267548.
3. Blythe D.A.J., Király F.J. Prediction and Quantification of Individual Athletic Performance of Runners. *PLOS ONE*, 2016, no. 11(6). DOI: 10.1371/journal.pone.0157257.
4. Le Hyaric A., Aftalion A., Hanley B. Modelling the optimization of world-class 400 m and 1,500 m running performances using high-resolution data. *Front. Sports Act. Living*, 2024, no. 6. DOI: 10.3389/fspor.2024.1293145.
5. Behmejer M., Smolenskij A.V., Mitjushkina O.A. Professional risks in high-performance sports. *Bulletin of New Medical Technologies. Electronic publication*, 2015, no.3, pp. 2-1, URL: http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5208.pdf (accessed: 01.02.2025), DOI: 10.12737/12131. (in Russ.)
6. Sá Filho A.S., Inacio P.A., Aprigliano V. et al. Predictive and Cross-Validation Analysis of Aerobic and Anaerobic Performance Based on Maximum Strength. *Applied Sciences*, 2025, no. 15(2), p.693. DOI: 10.3390/app15020693.
7. Chen J.Y. Decoding the Game: Forecasting NBA Champions with Neural Network Algorithms. *Bruin Sports Analytics*, 2023. URL: https://www.bruinsportsanalytics.com/post/nba-champs-neural-network (accessed: 01.02.2025).
8. Mazitova G.I. The role of the study of hemodynamic characteristics of rest in the prognosis of physical performance. *Theory and practice of physical education*, 2008, no. 1, pp. 83-85. (in Russ.)
9. Petrova V.V., Kish A.A., Bragin M.A. Forecast of physical performance based on indicators of a comprehensive assessment of the athletes' condition. *Medical science and education of the Urals*, 2019, no. 1(97), pp. 155-159. (in Russ.)
10. Petrova V.V., Nazarjan S.E., Kish A.A., Orlova N.Z., Prudnikov I.A. Analysis of existing methods for assessing the psychological state of an athlete to identify the most informative indicators that affect his performance. *Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*, 2017, no. 9, pp. 43-56. (in Russ.)
11. Fudin N.A., Hadarcev A.A. Medical and biological support for physical education and high-performance sports. *Bulletin of New Medical Technologies*, 2010, no. 1, pp. 149-150. (in Russ.)
12. Wattles M. Sports Performance Metrics: Why the Numbers Matter! *Competitive Edge*, 2019. URL: https://edgemeridian.com/sports-performance-metrics (accessed: 01.02.2025)
13. Sánchez R.R. How To Know the Key Performance Indicators in Sport. *Vitruve*, 2021. URL: https: //vitruve.fit/blog/how-to-know-the-key-performance-indicators-in-sport (accessed: 01.02.2025).
14. Badtieva V.A., Sharykin A.S., Pavlov V.I. Sports cardiology. Guide for cardiologists, pediatricians, doctors of functional diagnostics and sports medicine, trainers. Moscow: "IKAR", 2017, 328 p. (in Russ.)
15. Gavrilova E.A. Clinical and expert issues of electrocardiography in sports medicine: monograph. Moscow: "Sport", 2019, 272 p. (in Russ.)
16. Tan J., Chen J. Generating context-specific sports training plans by combining generative adversarial networks. *PLOS ONE*, 2025, no. 20(1), p. e0318321. DOI: 10.1371/journal.pone.0318321.
17. Sports Medicine: National Guidelines edited by Academician of the Russian Academy of Sciences

and Russian Academy of Medical Sciences Mironov S.P., Prof. Polyaev B.A., Prof. G.A. Makarova G.A. Moscow: "GEOTAR-Media", 2012, 1184 p. (in Russ.)
18. Mateus N., Abade E., Coutinho D. Empowering the Sports Scientist with Artificial Intelligence in Training, Performance, and Health Management. *Sensors*, 2025, no. 25(1). p. 139. DOI: 10.3390/s25010139.
19. Praskurnichij E.A. Medical and aeromedical risks of flight safety: monograph. Moscow: "FGBU GNC FMBC im. A.I. Burnazjana FMBA Rossii", 2021, 192 p.
20. Praskurnichij E.A., Kniga V.V., Bystrova A.G., Justova V.D. Aeromedical aspects of flight safety risk management. *Aerospace and environmental medicine*, 2016, no. 50(2), pp. 21-27. (in Russ.)
21. Praskurnichij E.A., Justova V.D. Methodology for assessing cardiovascular risk in civil aviation flight personnel. *Aerospace and environmental medicine*, 2020, no. 54(5), pp. 50-56. (in Russ.)
22. Kyte J. Ensuring Reliability and Validity in Sports Performance Analysis. *Graduate School of Sport and Professional Practice*, 2023. URL: https://blog.bham.ac.uk/gsspp-blog/2023/09/14/ensuring-reliability-and-validity-in-sports-performance-analysis (accessed: 01.02.2025).
23. Badtieva V.A., Nikitjuk D.B., Rozhkova E.A. Antonov A.G., Vybornov V.D. et al. Practical recommendations for standardization of resting metabolism measurement by indirect calorimetry: a literature review. *Sports Medicine: Science and Practice*, 2022, no. 12(2), pp. 96-104. (in Russ.)
24. Zukiewicz P. Estimating NBA in-game win probability with a (not so) deep neural network. *Medium*, 2023. URL: https://medium.com/@zukiewicz.piotr/estimating-nba-in-game-win-probability-with-a-not-so-deep-neural-network-f6731a2e0ea9 (accessed: 01.02.2025)
25. Izmerov N.F., Buhtijarov I.V., Denisov Je.I. Assessment of occupational health risks in the system of evidence-based medicine. *School and university medicine and health issues*, 2016, no. 1, pp. 14-20. (in Russ.)
26. Whitehead R. The impact of data analytics on the sporting world. *The Institute of Analytics*, 2024. URL: https://ioaglobal.org/blog/impact-of-data-analyitcs-on-sports/ (accessed: 01.02.2025)
27. Ouyang Y., Li X., Zhou W. Integration of machine learning XGBoost and SHAP models for NBA game outcome prediction and quantitative analysis methodology. *PLOS ONE*, 2024, no. 19(7), p. e0307478. DOI: 10.1371/journal.pone.0307478.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Александр Сергеевич Самойлов – генеральный директор ФГБУ ГНЦ ФМБА им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: fmbc@fmbamail.ru.
Виктория Викторовна Петрова – заведующий лабораторией экспериментальной спортивной медицины ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: vpetrova@fmbcfmba.ru.
Павел Алексеевич Шулепов – старший научный сотрудник лаборатории экспериментальной спортивной медицины ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: pshulepov@fmbcfmba.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Aleksandr S. Samojlov – General Director, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, e-mail: fmbc@fmbamail.ru.
Viktoriia V. Petrova – Head of the Laboratory of Experimental Sports Medicine, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, e-mail: vpetrova@fmbcfmba.ru.
Pavel A. Shulepov – Senior Researcher of the Laboratory of Experimental Sports Medicine, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, e-mail: pshulepov@fmbcfmba.ru.

Для цитирования: Самойлов, А.С. Эволюция подходов к разработке моделей для прогнозирования, оценки и контроля параметров физической работоспособности профессиональных спортсменов (обзор) / А.С. Самойлов, В.В. Петрова, П.А. Шулепов // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_33

For citation: Samojlov A.S., Petrova V.V., Shulepov P.A. Approaches of mathematical models development for forecasting, assessing and monitoring physical performance of athletes (review). *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_33