

ISSN 2414-0244

Научно-периодический журнал «Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта». - 2025. - 40 (4)

Раздел 3. ФИЗИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА, СПОРТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ТУРИЗМ

DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2025\)4.12](https://doi.org/10.14258/zosh(2025)4.12)

УДК 796.015:004

**ПРИМЕНЕНИЕ НОСИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (WEARABLE TECHNOLOGY)
И МЕТОДОВ BIG DATA В ПРОГНОЗИРОВАНИИ СПОРТИВНОГО ТРАВМАТИЗМА:
СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

Милич Марко Кими

Высшая медицинская школа профессионального образования «Милутин Миланкович»,
Белград, Сербия

Orcid <https://orcid.org/0000-0002-9449-0113>

E-mail: drmarkokimimilic@gmail.com

Кохан Сергей Тихонович

Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Orcid <https://orcid.org/0000-0002-7809-3695>

E-mail: ispsmed@mail.ru

Романова Елена Вениаминовна

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

Orcid <https://orcid.org/0000-0003-4317-605X>

E-mail: romanovaev.2007@mail.ru

**APPLICATION OF WEARABLE TECHNOLOGY AND BIG DATA ANALYTICS IN SPORTS
INJURY PREDICTION: A SYSTEMATIC REVIEW**

Milic Marko Kimi

Higher Medical School of Vocational Education "Milutin Milankovic", Belgrade, Serbia

Orcid <https://orcid.org/0000-0002-9449-0113>

E-mail: drmarkokimimilic@gmail.com

Kokhan Sergey Tikhonovich

Transbaikal State University, Chita, Russia

Orcid <https://orcid.org/0000-0002-7809-3695>

E-mail: ispsmed@mail.ru

Romanova Elena Veniaminovna

Altai State University, Barnaul, Russia

Orcid <https://orcid.org/0000-0003-4317-605X>

E-mail: romanovaev.2007@mail.ru

Следует цитировать / Citation:

Милич М.К., Кохан С.Т., Романова Е.В. Применение носимых технологий (wearable technology) и методов big data в прогнозировании спортивного травматизма: систематический обзор //Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. 2025. 4 (40). URL: <http://journal.asu.ru/index.php/zosh>. DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2025\)4.12](https://doi.org/10.14258/zosh(2025)4.12)

Milic M.K., Kokhan S.T., Romanova E.V. (2025). Application of wearable technology and big data analytics in sports injury prediction: a systematic review. Health, physical culture and sports, 4 (40). URL: <http://journal.asu.ru/index.php/zosh>. DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2025\)4.12](https://doi.org/10.14258/zosh(2025)4.12)

Поступило в редакцию / Submitted 10.06.2025

Принято к публикации / Accepted 14.06.2025

Аннотация. В современном профессиональном спорте до 50% времени отсутствия атлетов на соревнованиях связано с бесконтактными травмами перегрузки (overuse injuries). Традиционные методы контроля нагрузки часто субъективны и не позволяют выявить скрытые паттерны дезадаптации. Цель исследования: проанализировать эффективность применения носимых датчиков (GPS/GNSS, акселерометры) и алгоритмов машинного обучения для прогнозирования риска травм. Материалы и методы: выполнен систематический обзор литературы в базах данных Scopus и Web of Science (2016–2024 гг.). Проанализировано 10 ключевых исследований, связывающих метрики внешней и внутренней нагрузки с эпидемиологией травм. Результаты: установлено, что превышение индекса острой/хронической нагрузки (ACWR) выше 1.5 увеличивает риск травм в 2-4 раза, однако этот метод требует индивидуальной калибровки. Алгоритмы искусственного интеллекта (Random Forest, Neural Networks) на основе данных с носимых устройств способны предсказывать бесконтактные травмы с точностью до 80-85%. Заключение: интеграция систем сбора данных в тренировочный процесс позволяет перейти от интуитивного управления к доказательному (data-driven), существенно снижая экономические и спортивные потери от травматизма.

Ключевые слова: спортивная информатика, Big Data, ACWR, профилактика травм, GPS-мониторинг, машинное обучение, внутренняя нагрузка.

Abstract. Introduction: in modern professional sports, up to 50% of athlete absence time is related to non-contact overuse injuries. Traditional load monitoring methods are often subjective and fail to identify hidden maladaptation patterns. Objective: to analyze the effectiveness of using wearable sensors (GPS/GNSS, accelerometers) and Machine Learning algorithms for predicting injury risk. Materials and Methods: a literature review was conducted using Scopus and Web of Science databases (2016–2024). Ten key studies linking external and internal load metrics with injury epidemiology were analyzed. Results: it was found that exceeding the Acute: Chronic Workload Ratio (ACWR) above 1.5 increases the risk of injury by 2-4 times, although this method requires individual calibration. Artificial Intelligence algorithms (Random Forest, Neural Networks) based on data from wearable devices are capable of predicting non-contact injuries with an accuracy of up to 80-85%. Conclusion: integrating data collection systems into the training process allows for a transition from intuitive management to a data-driven approach, significantly reducing economic losses due to injuries.

Keywords: sports informatics, Big Data, ACWR, injury prevention, GPS monitoring, machine learning, internal load.

Введение. В эпоху цифровизации спорт высших достижений трансформируется в высокотехнологичную индустрию. Согласно консенсусному заявлению международных экспертов, принятому в Дохе (2017), мониторинг тренировочной нагрузки является фундаментальным компонентом защиты здоровья спортсменов (Бурдон, 2017). Экономические потери от травм в профессиональных лигах исчисляются сотнями миллионов долларов ежегодно. При этом значительная часть бесконтактных мышечных травм классифицируется как предотвратимая, так как они возникают вследствие ошибок в планировании тренировочного процесса, известных как «парадокс тренировок» (Сущенко, 2016; Габбетт, 2016).

Основная проблема заключается в поиске баланса: недостаточная нагрузка не дает тренировочного эффекта, а чрезмерная или резкая (spikes) ведет к дезадаптации тканей. Появление микроэлектромеханических систем (MEMS) позволило собирать объективные данные (Big Data) в режиме реального времени, что открыло путь к использованию предиктивной аналитики.

Цель данного исследования — систематизировать современные научные данные о применении носимой электроники и алгоритмов машинного обучения для создания прогностических моделей риска травм.

Материалы и методы. Исследование выполнено в дизайне систематического обзора согласно рекомендациям PRISMA. Поиск источников проводился в международных реферативных базах данных PubMed, Scopus и Web of Science.

Критерии включения:

- оригинальные исследования, опубликованные в период с 2016 по 2024 год;
- использование профессиональных систем мониторинга (GPS >10 Гц, акселерометрия);
- наличие статистически обоснованных корреляций между метриками нагрузки и частотой травм.

Результаты исследования. Дихотомия нагрузки: Внешняя и Внутренняя. Для построения эффективной модели предикции необходимо разделять нагрузку на два компонента. Как отмечают Bourdon et al., внешняя нагрузка — это работа, выполненная атлетом, а внутренняя — это физиологический ответ организма (Бурдон, 2017; Mischenko, 2020)

Внешняя нагрузка (External Load): измеряется с помощью GPS/GNSS модулей. Основные метрики включают общую дистанцию, дистанцию на высокой скорости (High Speed Running — HSR) и количество ускорений. Duhig et al. (2016) установили, что резкое увеличение объема бега на скорости выше 24 км/ч является прямым предиктором травм задней поверхности бедра (Духиг, 2016).

Внутренняя нагрузка (Internal Load): измеряется через частоту сердечных сокращений (HR) и субъективную оценку тяжести тренировки (RPE). Классическая работа Foster (1998) доказала, что метод Session-RPE обладает высокой валидностью для оценки общего стресса на организм (Фостер, 1998; Ворожейкин, 2019).

Таблица 1

Характеристика носимых устройств и типов данных

Тип устройства	Метрики	Применение в профилактике
GPS / GNSS (10-18 Гц)	Дистанция, HSR, Спринты	Контроль "скачков" объема беговой работы.
Акселерометр (100 Гц)	PlayerLoad™, Impact G-force	Выявление асимметрии походки и перегрузки суставов.
HR-монитор	HRV (RMSSD), TRIMP	Оценка восстановления вегетативной нервной системы.

Индекс ACWR: Золотой стандарт и его критика.

Центральное место в аналитике занимает концепция ACWR (Acute:Chronic Workload Ratio). Bowen et al. (2017) в масштабном исследовании на молодых футболистах подтвердили, что значения $ACWR > 1.5$ увеличивают риск травм в 2-4 раза в последующую неделю (Боуэн, 2017; Romanova, 2022; Пронин, 2024).

Однако, в научной среде существует дискуссия. Impellizzeri et al. (2020) подвергли критике математическую модель ACWR, указывая на то, что использование отношений (ratios) может приводить к ложным корреляциям, если не учитывать индивидуальные особенности адаптации. Это подчеркивает необходимость перехода от простых линейных индексов к сложным многофакторным моделям.

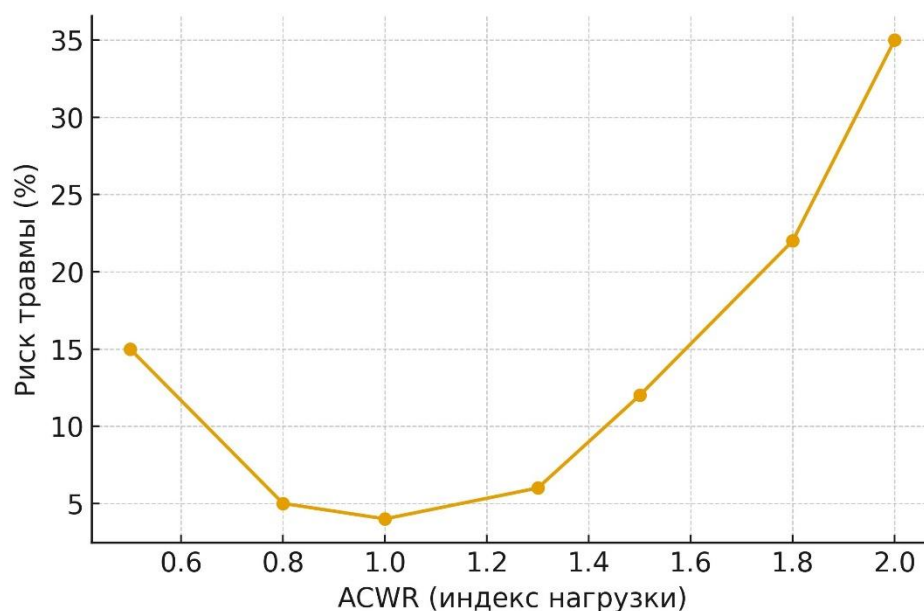


Рис. - 1. U-образная зависимость риска травм от соотношения ACWR

Роль Искусственного Интеллекта и Машинного Обучения

Традиционная статистика часто не видит скрытых взаимосвязей в массивах больших данных. Методы машинного обучения (Machine Learning – ML) позволяют обрабатывать нелинейные зависимости.

Многофакторные модели: Colby et al. (2017) использовали многовариантный анализ, объединив данные GPS и субъективные отчеты о самочувствии, что повысило точность прогноза на 15% по сравнению с изолированным использованием GPS.

Алгоритмы “Случайный лес” (Random Forest): Rossi et al. (2018) применили алгоритм Random Forest на базе данных итальянской Серии А. Их модель предсказывала бесконтактные травмы с точностью около 80%, анализируя паттерны, невидимые для человеческого глаза.

Систематические обзоры ML: Claudino et al. (2019) и более поздние работы Van Eetvelde (2021) подтверждают, что нейросетевые модели превосходят методы логистической регрессии, однако требуют огромных объемов данных для обучения Клаудино, 2019; Ван Этвельде, 2021).

Обсуждение. Внедрение цифровых технологий меняет парадигму спортивной медицины. Переход от реактивного подхода (лечение травм) к проактивному (предотвращение) становится реальностью. Тем не менее, как отмечают критики, слепое доверие алгоритмам недопустимо. Высокий показатель ACWR должен служить сигналом для диалога между тренером и врачом, а не автоматическим запретом на тренировку.

Перспективы развития лежат в области интеграции данных: объединение внешней нагрузки (GPS), внутренней (HRV) и генетических маркеров в единую цифровую экосистему “Цифровой двойник спортсмена”.

Заключение. Применение носимых устройств позволяет объективизировать тренировочный процесс, делая его измеримым и управляемым.

Индекс ACWR является полезным инструментом “первой линии” обороны, но должен применяться с учетом индивидуального контекста.

Алгоритмы искусственного интеллекта демонстрируют высокую прогностическую способность, но требуют качественных (“чистых”) данных для обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Бурдон П. С. и др. Мониторинг тренировочных нагрузок спортсменов: консенсусное заявление // Международный журнал спортивной физиологии и результативности. 2017. Том 12, Приложение 2. Стр. S2161–S2170. DOI: 10.1123/IJSPP.2017-0208.

Ворожейкин, А. В. Рукопашный бой как самостоятельный вид спорта: ретроспектива и перспективы / А. В. Ворожейкин, В. В. Фадеева, А. П. Волков // Вестник Калининградского филиала Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2019. – № 4(58). – С. 93-98.

Габбетт Т. Дж. Парадокс предотвращения травм на тренировках: должны ли спортсмены тренироваться умнее и усерднее? // Британский журнал спортивной медицины. 2016. Том 50, выпуск 5. С. 273-280.

Духиг С. и др. Влияние скоростного бега на риск травм при растяжении подколенного сухожилия // Journal of Science and Medicine in Sport. 2016. Том 19, Iss. 10. С. 825-829.

Фостер С. Мониторинг тренировок спортсменов в связи с синдромом перетренированности // Медицина и наука в спорте и физических упражнениях. 1998. Том 30, Iss. 7. С. 1164-1168.

Боуэн Л. и др. Накопленные нагрузки и соотношение острой и хронической нагрузки связаны с риском получения травм у элитных футболистов молодежной команды // British Journal of Sports Medicine. 2017. Том 51. С. 452-459.

Импеллищери Ф. М. и др. Соотношение острой и хронической нагрузки: концептуальные вопросы и фундаментальные подводные камни // Международный журнал спортивной физиологии и результативности. 2020. Том 15, Вып. 6. С. 907-913. DOI: 10.1123/ijsp.2020-0301.

Колби М. Дж. и др. Многофакторное моделирование субъективных и объективных данных мониторинга улучшает выявление риска бесконтактных травм // Журнал науки и медицины в спорте. 2017. Том 20. С. 1027-1032.

Педагогические условия, необходимые для развития координации движений у спортсменов, занимающихся единоборствами с использованием подвижных игр / Е. А. Пронин, А. В. Ворожейкин, Д. Е. Коновалов, С. А. Елисеев // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2024. – Т. 19, № 4. – С. 140-145.

Росси А. и др. Эффективное прогнозирование травм в футболе с использованием данных GPS-тренировок и машинного обучения // PLoS ONE. 2018. Том 13, Iss. 7. Art. E0201264.

Сущенко, В. П. Показатели, определяющие готовность инструкторов по рукопашному бою силовых структур к педагогической деятельности / В. П. Сущенко, А. В. Ворожейкин // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2016. – № 12(142). – С. 127-130.

Клаудино Дж. Дж. и др. Роль искусственного интеллекта в прогнозировании спортивных травм: систематический обзор // Journal of Sports Sciences. 2019. Том 37. С. 1-9.

Ван Этвельде Х. и др. Методы машинного обучения в прогнозировании и профилактике спортивных травм: систематический обзор // Journal of Sports Science & Medicine. 2021. Том 20, Iss. 4. С. 449-463.

Pilates program use for high school girls' additional physical education / N. Mischenko, M. Kolokoltsev, E. Romanova [et al.] // Journal of Physical Education and Sport. – 2020. – Vol. 20, No. 6. – P. 3485-3490. – DOI 10.7752/jpes.2020.06470.

Comprehensive program for flat foot and posture disorders prevention by means of physical education in 6-year-old children / E. Romanova, M. Kolokoltsev, A. Vorozheikin [et al.] // Journal of Physical Education and Sport. – 2022. – Vol. 22, No. 11. – P. 2655-2662. – DOI 10.7752/jpes.2022.11337.

REFERENCES

Bourdon P. C. et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement // International Journal of Sports Physiology and Performance. 2017. Vol. 12, Suppl 2. P. S2161–S2170. DOI: 10.1123/IJSP.2017-0208.

Vorozheikin, A. V. Hand-to-Hand Combat as an Independent Sport: Retrospective and Prospects / A. V. Vorozheikin, V. V. Fadeeva, A. P. Volkov // Bulletin of the Kaliningrad Branch of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – 2019. – No. 4(58). – Pp. 93–98.

Gabbett T. J. The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? // British Journal of Sports Medicine. 2016. Vol. 50, Iss. 5. P. 273–280.

Duhig S. et al. Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk // Journal of Science and Medicine in Sport. 2016. Vol. 19, Iss. 10. P. 825–829.

Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome // Medicine & Science in Sports & Exercise. 1998. Vol. 30, Iss. 7. P. 1164–1168.

Bowen L. et al. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players // British Journal of Sports Medicine. 2017. Vol. 51. P. 452–459.

Impellizzeri F. M. et al. Acute:Chronic Workload Ratio: Conceptual Issues and Fundamental Pitfalls // International Journal of Sports Physiology and Performance. 2020. Vol. 15, Iss. 6. P. 907–913. DOI: 10.1123/ijsp.2020-0301.

Colby M. J. et al. Multivariate modelling of subjective and objective monitoring data improves the detection of non-contact injury risk // Journal of Science and Medicine in Sport. 2017. Vol. 20. P. 1027–1032.

Rossi A. et al. Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning // PLoS ONE. 2018. Vol. 13, Iss. 7. Art. E0201264.

Sushchenko, V. P. Indicators Determining the Readiness of Hand-to-Hand Combat Instructors in Law Enforcement Agencies for Pedagogical Activity / V. P. Sushchenko, A. V. Vorozheikin // Scientific Notes of Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health. – 2016. – No. 12(142). – Pp. 127–130.

Claudino J. G. et al. The role of Artificial Intelligence in sports injury prediction: A systematic review // Journal of Sports Sciences. 2019. Vol. 37. P. 1–9.

Van Eetvelde H. et al. Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: a systematic review // Journal of Sports Science & Medicine. 2021. Vol. 20, Iss. 4. P. 449–463.

Pedagogical Conditions Necessary for the Development of Motor Coordination in Martial Arts Athletes Using Mobile Games / E. A. Pronin, A. V. Vorozheikin, D. E. Konovalov, S. A. Eliseev // Pedagogical, Psychological, and Medical-Biological Problems of Physical Culture and Sports. – 2024. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 140–145.

Pilates program use for high school girls' additional physical education / N. Mischenko, M. Kolokoltsev, E. Romanova [et al.] // Journal of Physical Education and Sport. – 2020. – Vol. 20, No. 6. – P. 3485-3490. – DOI 10.7752/jpes.2020.06470.

Comprehensive program for flat foot and posture disorders prevention by means of physical education in 6-year-old children / E. Romanova, M. Kolokoltsev, A. Vorozheikin [et al.] // Journal of Physical Education and Sport. – 2022. – Vol. 22, No. 11. – P. 2655-2662. – DOI 10.7752/jpes.2022.11337.