

## АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АСWR-ПОДХОДА К МОНИТОРИНГУ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКИ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### Часть I.

#### Совершенствование методов расчета, индивидуализация и динамические адаптации

**Е.В. ФЕДОТОВА,**  
**ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, г. Москва**

#### **Аннотация**

АСWR-подход к мониторингу тренировочной нагрузки широко применяется в спортивной науке, однако многие методологические аспекты остаются предметом дискуссий. В настоящей работе (первой в цикле из трех аналитических статей) представлен систематический обзор эмпирических исследований, направленных на оптимизацию статистических методов агрегации временных рядов данных о нагрузке, лежащих в основе расчета показателя АСWR. Цель данного обзора – анализ эффективности альтернатив скользящим средним RA (Rolling Average), включая экспоненциально взвешенное скользящее среднее EWMA (Exponentially Weighted Moving Average), байесовские подходы, методы учета нелинейных зависимостей между нагрузкой и травматизмом, индивидуализацию пороговых значений и адаптацию временных окон. Поиск проводился в базах PubMed, Google Scholar, Europe PMC, ScienceDirect. В обзор включены 22 оригинальных исследования, опубликованных в рецензируемых журналах на английском языке в период с 2017 по 2025 г. Показано, что переход на EWMA, учет нелинейных зависимостей и абсолютных величин нагрузки, а также индивидуализация порогов существенно повышают валидность АСWR.

**Ключевые слова:** АСWR, тренировочная нагрузка, мониторинг, экспоненциальное сглаживание, EWMA, байесовские модели, индивидуализация, динамические окна.

## CURRENT DIRECTIONS FOR MODIFICATION OF THE ACWR-BASED TRAINING LOAD MONITORING APPROACH: A SYSTEMATIC REVIEW

### Part 1.

#### Enhancing Calculation Methods, Personalization and Dynamic Adaptations

**E.V. FEDOTOVA,**  
**VNIIFK, Moscow city**

#### **Abstract**

The Acute: Chronic Workload Ratio (ACWR) approach is widely used in sports science for training load monitoring; however, many of its methodological aspects remain contentious. This paper (the first in a series of three review articles) presents a systematic review of empirical studies focused on optimizing the statistical methods for aggregating time-series load data underlying the ACWR calculation. The aim of this review is to analyze the efficacy of alternatives to rolling averages (RA), including the exponentially weighted moving average (EWMA), Bayesian approaches, methods for accounting for non-linear relationships between load and injury risk, individualization of threshold values, and the adaptation of time windows. The search was conducted in PubMed, Google Scholar, Europe PMC, and Science Direct databases. The review includes 22 original studies published in English-language peer-reviewed journals between 2017 and 2025. The findings indicate that adopting EWMA, incorporating non-linear relationships and absolute load values, and individualizing thresholds significantly enhance the validity of the ACWR.

**Keywords:** ACWR, training load, monitoring, exponentially weighted moving average (EWMA), Bayesian models, individualization, dynamic time windows.



## Введение

Одним из главных условий достижения высокого уровня подготовленности и результатов спортсменов является умение правильно подбирать, адекватно использовать, контролировать, оценивать и своевременно корректировать тренировочную нагрузку, мониторинг которой считается фундаментальным аспектом оптимизации спортивной результативности и минимизации риска травм и перетренированности [1, 2].

Предложенный T.J. Gabbett [1] подход к мониторингу на основе расчета соотношения краткосрочной или «острой» нагрузки – Acute Load (обычно за 1 неделю) и долгосрочной, кумулятивной или «хронической» – Chronic Load (обычно за 4 недели) тренировочной нагрузки (**Acute: Chronic Workload Ratio, ACWR**) получил широкое распространение благодаря своей интуитивной понятности и концепции «оптимальной зоны» (Sweet Zone,  $\approx 0,8-1,3$ ), где риск получения неконтактной травмы считается минимальным [1, 3]. Однако классический подход к расчету и применению ACWR, основанный на простых **скользящих средних (RA)**, столкнулся с обоснованной критикой, которая не только выявила ряд методологических и концептуальных ограничений [4–6], но и стимулировала активный поиск путей для их преодоления.

Общей целью цикла из трех статей является проведение комплексного систематического обзора и аналитического обобщения современных эмпирических исследований, направленных на модификацию ACWR-подхода.

Было выделено три ключевых направления:

1) совершенствование методов агрегации временных рядов данных о нагрузке, лежащих в основе расчета показателя ACWR (*рассматривается в настоящей статье*);

2) разработка гибридных моделей, интегрирующих ACWR, биомаркеры и субъективные показатели;

3) интеграция ACWR с алгоритмами машинного обучения и искусственного интеллекта.

В данной статье проводится обзор исследований, сфокусированных на анализе эффективности альтернатив **взвешенное скользящее среднее (EWMA)**, байесовские подходы, методы учета нелинейных зависимостей между нагрузкой и травматизмом, индивидуализацию пороговых значений и адаптацию временных окон. Проведена систематическая оценка влияния предлагаемых модификаций на прогностическую валидность ACWR в отношении риска травм и оптимизации уровня готовности спортсменов с учетом специализации.

## Методы исследования

Систематический обзор публикаций был проведен с соблюдением основных рекомендаций PRISMA [7]. Поиск проводился в базах PubMed, Google Scholar, Europe PMC, ScienceDirect и eLibrary с использованием комбинаций ключевых слов, отобранных предварительно по результатам обзора литературы: “acute chronic workload ratio”, “ACWR”, “training load”, “workload”,

“injury risk”, “exponentially weighted moving average”, “EWMA”, “Bayesian”, “nonlinear”, “individual”, “dynamic window”, “rolling average”. Для максимально полного охвата литературы в каждой базе данных было выполнено несколько итераций (повторений) поиска с разными комбинациями ключевых слов.

Все ссылки были экспортированы в EndNote для дедупликации, отбора потенциально релевантных исследований на основе заголовков и аннотаций, проверки возможности доступа к полнотекстовой версии и соответствия критериям включения. В обзор включались оригинальные научные исследования, опубликованные в рецензируемых журналах на английском языке за последнее десятилетие.

В соответствии с моделью PICOS (Population-Intervention-Comparison-Outcomes-Study Design) были определены критерии для включения статей в обзорный цикл:

> *«участники»* – квалифицированные спортсмены в возрасте старше 18 лет;

> *«вмешательство, фактор»* – характеристика предлагаемой авторами модификации ACWR-подхода, усовершенствования, адаптации;

> *«сравнение»* – сравнение результатов использования предлагаемого авторами «модифицированного» и «классического» ACWR-подхода либо других вариантов модификаций;

> *«результат»* – наличие в статье результатов, полученных при реализации «модифицированного» подхода к мониторингу нагрузки, отражающих его эффективность;

> *«дизайн исследования»* – проспективные и ретроспективные когортные исследования, исследования статистического моделирования, лонгитюдные исследования типа “case-study”.

Кроме того, для данного обзора отбирались исследования, целью которых было: сравнение различных методов агрегации данных для расчета острой (AL) и/или хронической (CL) нагрузки; применение продвинутых статистических методов для моделирования связи ACWR или нагрузки с травматизмом или производительностью с учетом нелинейности или индивидуальных вариаций; исследование влияния размера временных окон или разработка адаптивных методов его определения; разработка подходов к индивидуализации пороговых значений ACWR.

Статьи, прошедшие первичный скрининг, оценивались по полнотекстовым версиям на предмет соответствия критериям включения и качества методологии. Данные по каждой статье, включенной в обзор, систематически извлекались по заданным параметрам и заносились в сводную таблицу (табл. 1). Методологическое качество включенных исследований оценивалось по шкале Newcastle-Ottawa Scale (NOS) [8]; в обзор включались исследования с оценкой  $\geq 5$ .

## Результаты исследования

Из 186 потенциально релевантных источников, выявленных в ходе первоначального поиска, в обзор было включено 22 статьи (табл. 1).



Таблица 1

**Оптимизация статистических методов агрегации  
временных рядов данных о нагрузке для расчета ACWR, индивидуализация порогов  
и адаптивные временные окна**

Источник, вид спорта, участники	Предлагаемая модификация, эффект от использования, краткие выводы
Murray et al. (2017).* Австралийский футбол. Элита ( $n = 59$ ) [9]	<i>Замена RA на EWMA при агрегации данных для расчета ACWR.</i> Значимые различия в значениях ACWR между методами для умеренного (ACWR 1.0–1.49; $p = 0.021$ ), высокого (ACWR 1.50–1.99; $p = 0.012$ ) и очень высокого (ACWR > 2.0; $p = 0.001$ ) диапазонов ACWR. Для HSR (High Speed Running): RR = 5.87 (RA) и 13.43 (EWMA). Для TD (общая дистанция): RR = 6.52 (RA) и 21.28 (EWMA). EWMA лучше учитывает «затухание» эффекта нагрузки. Лучшая комбинация: AL = 3 дня. CL = 21 день (для MSR = 18–24 км/ч). Оптимальное окно для CL: 21 день (отличие от классического)
Johnston et al. (2019).* Бег, триатлон, плавание, велоспорт, гребля. Разный уровень ( $n = 95$ ) [10]	<i>Замена классического ACWR – RA на ACWR – EWMA (большой вес недавним нагрузкам) и анализ 14-дневного лага для кумулятивной нагрузки (CL).</i> J-образная зависимость: CL 3500–8000 AU снижал риск (HR = 0.33). EWMA точнее отражает «эффект запаздывания» адаптации
Cloosterman et al. (2024).* Легкая атлетика (бег). Разный уровень ( $n = 430$ ) [11]	<i>Сравнение ACWR – coupled RA, ACWR – uncoupled RA; ACWR- EWMA.</i> Weekly Load: 33.4% (95% CI: 32.8–34.0) сессий → «риск». ACWR – coupled RA: 16.2% (95% CI: 15.7–16.6). WL показал 33.4% сессий в зоне риска, а ACWR uncoupled – 16.2%. Разница статистически значима ( $p < 0.05$ ), что подчеркивает несопоставимость методов
Coyne et al. (2021).** Тяжелая атлетика. Элита ( $n = 21$ ) [12]	<i>Использование RA (SMA) вместо EWMA для TSB/ACWR.</i> RA: VOL21 TSB и ACWR ↓ у успешных атлетов ( $p = 0.03$ ; $g = 1.15$ и $1.07$ ). EWMA: различия не значимы. Волатильность TSB/ACWR за 21 день до соревнований – ключевой индикатор. Корреляция: VOL21 ACWR (EWMA) ↔ производительность ( $r = -0.48$ ; $p = 0.03$ ). RA может быть более чувствительным к изменениям, связанным с производительностью в условиях сужения (taper) у тяжелоатлетов
Nakaoka et al. (2021).*&*** Легкая атлетика (бег). Любители ( $n = 435$ ) [13]	<i>Сравнение RA и байесовского подхода.</i> Минимальный риск травм (1.3%) при ACWR < 0.65; ACWR > 1.38 → риск 7.1%. Несвязанный метод лучше предсказывал травмы (OR = 0.17; 95% ДИ: 0.10–0.27) vs. EWMA (незначимо). Выявлена U-образная зависимость (риск ↑ при ACWR < 0.65 и > 1.38), но подчеркнуто, что низкий ACWR опаснее
Bache-Mathiesen et al. (2021).***&* Футбол. Элита ( $n = 81$ ), U19 ( $n = 36$ ). Гандбол. Элита – молодежь ( $n = 205$ ) [14]	<i>Замена линейных моделей на дробные полиномы (FP) или ограниченные кубические сплайны (RCS).</i> Для гандбола: J-образная связь sRPE с травмами ( $p < 0.001$ ). Симуляции: FP/RCS снизили RMSE на 30–50% vs линейных моделей. Линейные модели маскируют нелинейные связи (например, при $p = 0.24$ для линейной vs $p < 0.001$ для RCS). Категоризация ACWR (квартили, зоны) дала худшие результаты
Bache-Mathiesen et al. (2024).*&*** Футбол. Элита ( $n = 1465$ ), U19 ( $n = 81$ ) [15]	<i>Раздельное моделирование острой (день 0) и хронической нагрузки (дни: –1...–27) с учетом взаимодействия (acute × chronic).</i> Замена “acute/chronic” на раздельное моделирование нагрузок с применением распределенных лаговых нелинейных моделей (DLNM). Устранение искусственной корреляции между числителем и знаменателем и невозможности работы с нулевой хронической нагрузкой
Schuster et al. (2025).* Легкая атлетика (бег). Любители ( $n = 5205$ ) [16]	<i>Порог &gt; 10% увеличения дистанции относительно максимума за 30 дней – ключевой предиктор перегрузки (small spike: HRR = 1.64; <math>p &lt; 0.01</math>).</i> Week-to-week ratio не показал значимой связи ( $p > 0.05$ ). Отсутствие позитивной связи ACWR с травматизмом (large spike: HRR = 0.75, $p = 0.02$ ) подчеркивает необходимость смены парадигмы в пользу “session-specific”-подхода. Приоритет “session-specific”-мониторинга над “weekly”-методами, рекомендация – комбинировать подходы. Требуется высокочастотный сбор данных, что недоступно в ряде видов спорта
Bowen et al. (2020).** Футбол. Элита ( $n = 33$ ) [17]	<i>ACWR с разделением хронической нагрузки на категории (низкая/высокая) по медиане.</i> При низкой хронической нагрузке и ACWR > 2.0: неконтактные травмы: RR = 6.7 (Acc), RR = 5.4–6.6 (LID), контактные травмы: не связаны с ACWR



Источник, вид спорта, участники	Предлагаемая модификация, эффект от использования, краткие выводы
Marshall et al. (2024).* Футбол. Профи ( $n = 23$ ) [18]	<i>Стандартизация ACWR HMLD по показателям выносливости (<math>v2, v4, LT, VO_2 max</math>): ACWR HMLD/EP.</i> Результаты: наивысший AUC (0.81, 95% ДИ: 0.59–1.00) для хронической нагрузки (последняя неделя до травмы) + vLT. Чувствительность: 78%, специфичность: 80% при пороге 40.7 м/мин. Хроническая нагрузка в сочетании с аэробной мощностью (LT) – ключевой предиктор. Изолированный ACWR HMLD менее эффективен ( $AUC < 0.70$ ).
Barry et al. (2024).* Плавание. Квалифицированные ( $n = 34$ ) [19]	<i>Байесовский анализ: ACWR и травмы: <math>OR \approx 1.0</math> (<math>BF = 0.17-0.48</math>).</i> Высокая апостериорная вероятность (70–97%) положительной связи ( $OR > 1$ ) для некоторых параметров нагрузки, однако доверительные интервалы (CrI) – чрезвычайно широкие и включали 1.0, а факторы Байеса ( $BF = 0.17-0.48$ ) указывали лишь на статистически неопределенные или слабые доказательства в пользу связи. Вывод о высокой неопределенности в оценке связи из-за вариабельности данных и влияния неучитываемых факторов. Необходимость акцента на индивидуальной адаптации и неметрических факторах (техника, восстановление)
Carbone et al. (2022).**&*** Футбол. Элита ( $n = 35$ ) [20]	<i>Применение байесовского логистического регрессионного анализа для связи ACWR с травмами.</i> Байесовский подход: широкие CrI для OR ACWR, включающие 1 ( $OR > 1.5$ ; CrI 0.6–3.7). Частотный: $OR = 2.1$ (95% CI 1.1–4.0). Байесовский анализ показал высокую неопределенность (широкие CrI) в оценке связи ACWR с травмами, в то время как частотный подход дал ложное ощущение точности (узкие ДИ). Методологические преимущества байесовского подхода для учета контекста. Рекомендация дополнить ACWR учетом других факторов и применением других метрик
McCall et al. (2018).*&*** Футбол. Элита ( $n = 171$ ) [21]	<i>Анализ ACWR для разных временных окон (1–3 и 1–4 недели).</i> AUC низкий: 0.56–0.58 (плохая прогностическая способность независимо от метода расчета) – ограниченная полезность изолированного ACWR. Необходимость интеграции ACWR в мультифакторные модели, включая внешние нагрузки и психофизиологические маркеры
Ren et al. (2024).* Регби. Профи ( $n = 57$ ) [22]	<i>Сравнение трех методов агрегации данных для ACWR: 1) coupled RA; 2) uncoupled RA (исключение AL из расчета CL); 3) EWMA.</i> EWMA показала меньшую вариабельность между позициями vs RA. При окне CL > 28 дней терялась чувствительность к пиковым нагрузкам. Для центральных оптимальное окно AL: 3–6 дней, CL: 21 день. Позиционная специфика нагрузки критична для планирования тренировок
Bakal et al. (2023).** Футбол. Клубный Див. 1 ( $n = 23$ ) [23]	<i>Исследование связи среднекомандного ACWR (в отличие от индивидуального) с риском травм в команде.</i> $ACWR > 1.30$ значимо ассоциирован с увеличением риска травм в последующие 7 дней ( $IRR = 2.1$ , 95% CI: 1.2–3.7)
Kim T. (2021).** Хоккей на траве. Элита ( $n = 52$ ) [24]	<i>Позиционно-ориентированные ACWR-пороги, позиционные различия в оптимальных ACWR.</i> Нападающие/полузащитники: низкий риск при умеренно-низком ACWR TD (0.94–1.07), МрМ (0.93–1.07), RHIE (0.93–1.10), ACC (0.92–1.12); умеренно-высоком HID (1.16–1.34). Защитники: низкий риск при умеренно-низком HID (0.97–1.02), МрМ (0.97–1.05). Риск травм: 6.58/100 AEs. Значительные индивидуальные вариации внутри позиций, сложность установления фиксированных порогов, необходимость разработки персонализированных подходов, основанных на отклонениях от индивидуальных или позиционных норм
Timoteo et al. (2025).* Волейбол. Элита ( $n = 43$ ) [25]	<i>Сравнение coupled vs. uncoupled ACWR для RA и EWMA с окнами 7–21 и 7–28 дней.</i> Полный сезон/соревновательный период: RA coupled ACWR 7–28: $OR = 2.040$ (95% ДИ: 1.55–2.50). RA coupled ACWR 7–21: $OR = 1.980$ (ДИ: 1.12–1.31). Подготовительный период: EWMA coupled ACWR 7–21: $OR = 7.504$ (ДИ: 3.04–15.29). EWMA coupled более чувствителен в подготовительный период, RA coupled – в соревновательный период



Окончание табл. 1

Источник, вид спорта, участники	Предлагаемая модификация, эффект от использования, краткие выводы
Schumann et al. (2023).* & *** Волейбол. Юниорки ( $n = 24$ ) [26]	<i>Сравнение RA и EWMA ACWR для сезонов с разной структурой (стабильный vs. нестабильный график).</i> Школьный сезон (HSVB): корреляция RA/EWMA: $r = 0.756$ ( $p < 0.001$ ), EWMA выявил пик нагрузки на 7–8-й неделе ( $p = 0.015$ ). Клубный сезон (CVB): корреляция RA/EWMA: $r = 0.646$ ( $p < 0.001$ ), EWMA чувствительнее к спадам (недели: 4-я, 13-я, 19-я; $p < 0.05$ )
Lee et al. (2025).* & *** Тхэквондо. Элита юниоры/взрослые ( $n = 110$ ) [27]	<i>Уточнение «опасных зон» ACWR для тхэквондо.</i> Распределение по ACWR (RA/EWMA): умеренная зона (0.8–1.3) – 41%/50% травм. Высокая зона ( $> 1.5$ ) – 28%/12%. В отличие от паттерна, часто наблюдаемого в командных видах спорта (зона ACWR 0.8–1.3 – «безопасная»), в тхэквондо наибольшая доля травм пришлась именно на эту «умеренную» зону. Авторы связывают это со спецификой вида (в т.ч. большая часть нагрузки – в умеренной зоне)
Moussa et al. (2019).*** Разные виды. Симулированные данные (200 значений нагрузки) [28]	<i>Устойчивость к пропускам.</i> При 30% пропусков ACWR/EWMA не вычисляются; REDI сохраняет точность (ошибка: 1.48% – для нормальных данных; 4.69% – для равномерных). Гибкость: регулировка $\lambda$ (пример: $\lambda = 0.1 \rightarrow 50\%$ влияния нагрузки на 14-й день). Сравнение: REDI точнее EWMA при долгосрочном анализе (средняя ошибка 0.65% против систематического занижения EWMA). Устраняет недостатки EWMA за счет: экспоненциального взвешивания; адаптивности через параметр $\lambda$ , регулирующий скорость «забывания» нагрузки (например, $\lambda = 0.05$ даёт 50% вес на 14-й день); робастности – ошибка расчета при 50% пропусках – 3.76% для стабильных нагрузок
Sedeaud et al. (2020).* Футбол / пятиборье. Элита ( $n_1 = 24, n_2 = 12$ ) [29]	<i>Отказ от концепции универсальной «sweet zone».</i> Футбол: наибольшее число травм в зоне $[0-0.8]$ ( $22.3 \pm 6.4$ ). В зоне $> 1.5-17.6 \pm 5.5$ травм. Тяжесть травм выше в зонах $0.8-1.3$ ( $204.7 \pm 28.7$ дней) и $0-0.8$ ( $275 \pm 120.7$ дней). Пятиборье: 83.3% травм в «sweet zone». REDI – метод, устойчивый к пропускам данных, способный отслеживать рабочие нагрузки по всем временным рядам
Dalen-Lorentsen et al. (2021).* Футбол. Молодежь U19 – элита ( $n = 86$ ) [30]	<i>Сравнение 12 вариантов расчета ACWR:</i> длительность окна хронической нагрузки (21/28 дней), связанные/несвязанные расчеты, категоризация (предопределенные бины vs. z-оценки): сравнение категорий (низкая $\leftrightarrow$ высокая, средняя $\leftrightarrow$ высокая). EWMA дала больше значимых ассоциаций (44% vs. 10% для RA). Результаты критически зависят от методологии. Включение всех проблем здоровья (не только time-loss) повышает чувствительность модели. Дихотомизация непрерывных переменных снижает мощность модели

**Примечания:**

\* – проспективное когортное исследование; \*\* – ретроспективное когортное исследование; \*\*\* – статистическое моделирование;

↑ – повышение, увеличение; ↓ – уменьшение, снижение; → – следствие; ↔ – взаимосвязь.

ДИ – доверительный интервал. TD (Total Distance) – суммарная дистанция. REDI (Robust Exponential Decreasing Index) – адаптивный метод расчета накопленной нагрузки с экспоненциальным затуханием, устойчивый к пропускам.

**Обсуждение результатов исследования**

Результаты систематического анализа 22 эмпирических исследований свидетельствуют, что модификация расчетных методов ACWR выходит за рамки чисто технических улучшений: она затрагивает фундаментальные аспекты понимания взаимосвязи тренировочной нагрузки с риском травм и спортивной производительностью. Ключевым направлением стал сравнительный анализ эффективности использования EWMA, который присваивает более поздним нагрузкам больший вес, что позволяет точнее отражать текущее состояние спортсмена, в отличие от применяемого при классическом подходе RA, при котором и острая, и хроническая нагрузки рассчитываются как простое среднее арифметическое за соответствующий период. Результатами исследования в австралийском футболе [9] была установлена статистическая значимость

более высокой прогностической точности EWMA для неконтактных травм. Это преимущество EWMA, обусловленное его способностью плавно «забывать» старые данные и быстрее реагировать на изменения текущей нагрузки, было успешно воспроизведено в исследованиях, выполненных на материале видов спорта на выносливость [10, 11]. И для циклических видов спорта EWMA оказался более чувствительным, чем классический RA – ACWR, так как учитывает нелинейность накопления усталости. Но в отличие от командных видов спорта, где ACWR фокусируется на балансе острой или хронической нагрузки, в циклических дисциплинах важную роль играет кумулятивная (хроническая) нагрузка (CL) [10]. Исследование выявило J-образную зависимость, отражающую «парадокс подготовки» Габбетта: хроническая нагрузка



формирует резистентность, но требует четкого дозирования. Оптимальный коэффициент сглаживания EWMA варьировал в разных исследованиях (0,09–0,3), что указывает на необходимость его контекстной настройки. Тем не менее принцип экспоненциального взвешивания подтвердил свой статус предпочтительного метода расчета хронической нагрузки. Вместе с тем исследование Соупе et al. [12] вносит важный вклад в дискуссию о методах усреднения: RA (SMA) превзошел EWMA в прогнозировании производительности у тяжелоатлетов (волатильность ACWR за 21 день до старта была значимо ниже у успешных спортсменов только при SMA ( $p = 0,03$ ,  $g = 1,07–1,15$ ), что противоречит данным Murray et al. [9] и подчеркивает необходимость учета контекстных факторов, включая специфику вида спорта).

Не менее важным направлением развития является статистическое моделирование нелинейной природы связи нагрузки и травматизма. Вопреки «U-образной» гипотезе (риск травм при низких и высоких ACWR), в исследовании Nakaoka [13] выявлена L-образная зависимость. Авторы объясняют это спецификой бега как циклического вида спорта с низкой вариабельностью нагрузок у любителей. Анализ данных мониторинга гандболистов выявил J-образную связь между sRPE и травмами, которая оставалась скрытой при линейном анализе [14]. Исследование, проведенное на двух футбольных когортах и использующее раздельное моделирование нагрузок с применением распределенных лаговых нелинейных моделей (DLNM) [15], иллюстрирует: риск травмы значимо повышается при низкой хронической нагрузке, а взаимодействие «острое × хроническое» указывает на нелинейность связи. При этом учитывается «затухающая значимость» нагрузок со временем (пик влияния на 1-й день, OR = 1,1). Эти результаты ещё раз подтверждают ошибочность концепции единой «sweet zone» (как и некорректность прямого переноса порогов ACWR между видами спорта), показывая, что риск травмы существенно зависит от абсолютных величин выполняемой спортсменом нагрузки. Низкий объем, как и экстремально высокие уровни хронической нагрузки («феномен недостаточной подготовленности»), сам по себе является значимым фактором риска [16]. Опасность представляют резкие приросты недельной нагрузки, превышающие 150% от текущего хронического уровня, которые ассоциированы со значительным увеличением риска травм [17]. Следовательно, актуальным остается соблюдение принципа постепенности в планировании объема нагрузки, а мониторинг её резких приростов и оценка готовности спортсмена к нагрузке являются обязательными элементами управления нагрузкой.

Представленные в ряде исследований байесовские подходы [13, 19, 20] предлагают перспективную альтернативу традиционной частотной статистике. Их ключевая идея заключается в том, чтобы рассматривать хроническую нагрузку как исходное предположение (априорное распределение), а острую нагрузку – как наблюдаемые данные. Благодаря этому данный подход позволяет не только получать вероятностные оценки риска (а не точеч-

ные значения), обновляемые в режиме реального времени, но и напрямую моделировать сложные нелинейные связи. Кроме того, он дает возможность учитывать индивидуальные различия между спортсменами через иерархические структуры моделей и интегрировать априорные знания (например, данные предыдущих макроциклов) с данными текущего мониторинга. К методологическим преимуществам байесовского подхода относится его способность работать с неполными данными, обрабатывая пропущенные значения, а также четкая интерпретация неопределенности через представление результатов в виде доверительных интервалов. В то же время следует учитывать и выводы, сформулированные в исследовании Barry et al. [19], в котором авторы, используя байесовские смешанные логистические регрессионные модели, выявили вероятностный диапазон ассоциации между нагрузкой (sRPE-TL) и травмами. Несмотря на высокую вероятность, доказательства связи были классифицированы как слабые или статистически неопределенные, и отмечалось, что неопределенность в оценке остаётся высокой из-за вариабельности данных и влияния неучтенных факторов. Таким образом, подчеркивается, что даже при использовании мощных статистических методов один показатель не может быть основой для точного прогноза. Требуется комплексный мониторинг и интеграция дополнительных факторов: психофизиологического состояния (благополучия), истории травм, внутренировочных нагрузок и т.п.

Эффективное применение усовершенствованных методов расчета и интерпретации требует обязательного учета контекста и индивидуальных особенностей спортсмена. Так, исследование Marshall et al. [18] фокусируется на персонализации ACWR с учетом аэробной мощности. Практические решения должны также адаптироваться к специфике игрового амплуа в командных видах спорта, квалификации и уровню подготовленности спортсмена, что находит отражение в результатах эмпирических исследований [16, 22–24]. Не менее важен учет специфики вида спорта, показателей, используемых для квантификации нагрузки [25–27], особенностей подготовки на конкретном этапе годичного цикла (подготовительный период, этап непосредственной подготовки к соревнованиям с фазой снижения нагрузки – *tapering*, главные соревнования сезона и т.п.) [11]. История травм и особенности восстановления спортсмена также должны учитываться при интерпретации значений ACWR и определении границ персонализированных «порогов безопасности».

Для преодоления таких методологических сложностей, как обработка данных с пропусками (весьма актуальных для практики спортивной подготовки), может быть полезен инновационный подход – REDI (Robust Exponential Decreasing Index), адаптивный метод расчета накопленной нагрузки с экспоненциальным затуханием, устойчивый к пропускам, разработанный Moussa et al. [28]. Метод решает ключевые проблемы ACWR/EWMA: зависимость от 4-недельного окна, математическая связка «острое/хроническое», нечувствительность к давности



нагрузки. Эффективность метода была подтверждена в работе Sedeaud et al. [29], где также было показано преимущество метода REDI перед ACWR и EWMA при работе с неполными данными.

Одну из фундаментальных проблем в публикациях, посвященных использованию и совершенствованию ACWR-подхода, – отсутствие стандартизации методо-

логии, – отмечают Dalen-Loretsen et al. [30]. Протестировав 108 комбинаций расчетов, варьируя длительность окон, методы усреднения и подходы к категоризации, авторы показали влияние выбранного метода на выводы, подтвердив, что классический подход требует модификации для повышения прогностической валидности получаемых результатов.

### Выводы

Настоящий систематический обзор (первый из трёх статей обзорного цикла) демонстрирует определенный прогресс в преодолении методологических ограничений подхода к мониторингу тренировочной нагрузки на основе ACWR. Переход на расчет хронической нагрузки с использованием экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA), обладающего большей чувствительностью к изменениям нагрузки, вместо скользящих средних (RA), способствует повышению точности прогноза в отношении риска травм и изменения производительности. Применение продвинутых статистических методов, таких как обобщенные аддитивные модели и байесовский анализ, позволило выявить и адекватно описать сложную нелинейную природу связи тренировочной нагрузки с травматизмом. Выявлена критическая важность учета абсолютных уровней как острой, так

и хронической нагрузки, которые игнорируются при фокусе исключительно на их соотношении. Установлено, что недостаточный кумулятивный тренировочный объем и резкие приросты острой нагрузки являются независимыми и мощными факторами риска. В число ключевых практических рекомендаций включены: выбор метода (RA/EWMA/REDI) в зависимости от контекста (вид спорта, специфика игрового амплуа в командных видах, уровень подготовленности спортсмена, вид спорта и этап макроцикла и т.п.); строгий контроль резких недельных увеличений нагрузки; обязательный анализ как соотношения нагрузок, так и их абсолютных величин.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей работы.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК  
№ 777-00001-25 (тема № 001-25/3)*

### Литература / References

1. Gabbett T.J. The training – injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? // British Journal of Sports Medicine. – 2016. – No. 50 (5). – Pp. 273–280.
2. Blanch P., & Gabbett T.J. Has the athlete trained enough to return to play safely? // British Journal of Sports Medicine. – 2016. – No. 50 (8). – Pp. 471–475.
3. Hulin B.T., Gabbett T.J., Lawson D.W., et al. The acute: chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players // British Journal of Sports Medicine. – 2016. – No. 50 (4). – Pp. 231–236.
4. Impellizzeri F.M., Tenan M.S., Kempton T., Novak A., Coutts A.J. Acute:Chronic Workload Ratio: Conceptual Issues and Fundamental Pitfalls // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2020. – No. 15 (6). – Pp. 907–913.
5. Wang C., Vargas J.T., Stokes T., et al. Statistical flaws in the calculation of the acute: chronic workload ratio // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2020. – No. 15 (7). – Pp. 1011–1015.
6. Lolli L., Batterham A.M., Hawkins R. et al. Mathematical coupling causes spurious correlation within the conventional acute-to-chronic workload ratio calculations // British Journal of Sports Medicine. – 2019 Aug. – No. 53 (15). – Pp. 921–922.
7. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews // BMJ. – 2021 Mar. – Vol. 29 (372). – P. 71. – DOI: 10.1136/bmj.n71
8. Wells G.A., Shea B., O'Connell D., Peterson J., Welch V., Losos M., Tugwell P. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. – URL: [http://www.ohri.ca/programs/clinical\\_epidemiology/oxford.asp](http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp)
9. Murray N.B., Gabbett T.J., Townshend A.D., Blanch P. Calculating acute: chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages // British Journal of Sports Medicine. – 2017. – No. 51 (9). – Pp. 749–754.
10. Johnston R., Cahalan R., Bonnett L. et al. Training Load and Baseline Characteristics Associated With New Injury/Pain Within an Endurance Sporting Population: A Prospective Study // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2019 May. – No. 14 (5). – Pp. 590–597.
11. Cloosterman K., Vos R., Oeveren B. et al. Comparison of Weekly Training Load and Acute: Chronic Workload Ratio Methods to Estimate Change in Training Load in Running // Journal of Athletic Training. – 2024. – Vol. 59. – No. 10. – Pp. 1028–1034.



12. Coyne J.O.C., Newton R.U., Haff G.G. Relationships between internal training load in a taper with elite weightlifting performance calculated using different moving average methods // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2021. – No. 16 (3). – Pp. 342–352.
13. Nakaoka G., Barboza S.D., Verhagen E. et al. The association between the acute: chronic workload ratio and running-related injuries in Dutch runners: A Prospective Cohort Study // *Sports Med.* – 2021. – Vol. 51. – Pp. 2437–2447.
14. Bache-Mathiesen L.K., Andersen T.E., Dalen-Lorentsen T., et al. Not straightforward: modelling non-linearity in training load and injury research // *BMJ Open Sport Exerc Med.* – 2021. – No. 7. – P. e001119.
15. Bache-Mathiesen L.K., Andersen T.E., Dalen-Lorentsen T. et al. A new statistical approach to training load and injury risk: separating the acute from the chronic load // *Biol. Sport.* – 2024. – No. 41 (1). – Pp. 119–134.
16. Schuster Brandt Frandsen J., Hulme A., Parner E.T. et al. How much running is too much? Identifying high-risk running sessions in a 5200-person cohort study // *British Journal of Sports Medicine.* – 2025 Jul. – No. 59 (17). – Pp. 1203–1210. – DOI: 10.1136/bjsports-2024-109380
17. Bowen L., Gross A.S., Gimpel M., Bruce-Low S., Li F.X. Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study // *British Journal of Sports Medicine.* – 2020. – No. 54 (12). – Pp. 731–738.
18. Marshall R.P., Schulze S., Droste J.-N. et al. Is the endurance standardized ACWR<sub>HMLD</sub> or the underlying acute and chronic components related to injuries? // *Appl. Sci.* – 2024. – No. 14. – P. 9427.
19. Barry L., Lyons M., McCreesh K., Myers T. et al. The Relationship Between Training Load and Injury in Competitive Swimming: A Two-Year Longitudinal Study // *Appl. Sci.* – 2024. – No. 14. – P. 10411. – Doi.org/10.3390/app142210411
20. Carbone L., Sampietro M., Cicognini A. et al. Is the relationship between acute and chronic workload a valid predictive injury tool? A Bayesian Analysis // *Journal of Clinical Medicine.* – 2022 Oct. – No. 11 (19). – P. 5945.
21. McCall A., Dupont G., Ekstrand J. Internal workload and non-contact injury: a one-season study of five teams from the UEFA Elite Club Injury Study // *British Journal of Sports Medicine.* – 2018 Dec. – No. 52 (23). – Pp. 1517–1522. – DOI: 10.1136/bjsports-2017-098473
22. Ren X., Boisbluche S., Philippe K., Demy M., Hu X., Ding S., Prioux J. Assessing pre-season workload variation in professional rugby union players by comparing three acute: chronic workload ratio models based on playing positions // *Heliyon.* – 2024 Aug 30. – No. 10 (17). – P. e37176.
23. Bakal D.R., Friedrich T.R., Keane G., White B., Roh E.Y. Team's average acute: chronic workload ratio correlates with injury risk in NCAA men's soccer team // *PM R.* – 2023 Sep. – No. 15 (9). – Pp. 1140–1149. – DOI: 10.1002/pmrj.12923
24. Kim T., Park J.C., Park J.M., Choi H. Optimal relative workload for managing low-injury risk in lower extremities of female field hockey players: A retrospective observational study // *Medicine (Baltimore).* – 2021 Oct 29. – No. 100 (43). – P. e27643. – DOI: 10.1097/MD.00000000000027643
25. Timoteo T.F., Debieu P.B., Fonseca D.S., Felício D.C. et al. Training load and injuries in volleyball: An approach based on different methods of calculating acute to chronic workload ratio // *Sports Health.* – 2025 Jan – Feb. – No. 17 (1). – Pp. 104–110.
26. Schumann C., Wojciechowski M., Bunn J.A. Comparing two methods of acute: chronic workload calculations in girls' youth volleyball // *sports.* – 2023. – No. 11. – P. 51. – Doi.org/10.3390/sports11030051
27. Lee J., Lim J., Kim S., Song I., Lim S., Yoon J., Park J. Injury Incidences related to acute-to-chronic workload ratios in taekwondo: a prospective study with a 3-year follow-up // *J. Athl. Train.* – 2025 Apr 15. – No. 60 (8). – Pp. 569–576.
28. Moussa I., Leroy A., Sauliere G., Schipman J. et al. Robust exponential decreasing index (REDI): adaptive and robust method for computing cumulated workload // *BMJ Open Sport Exerc. Med.* – 2019 Oct 30. – No. 5 (1). – P. e000573.
29. Sedeaud A., De Larochelambert Q., Moussa I., Brasse D., Berrou J.M., Duncombe S., Antero J., Orhant E., Carling C., Toussaint J.F. Does an optimal relationship between injury risk and workload represented by the “Sweet Spot” really exist? An example from elite French soccer players and pentathletes // *Front Physiol.* – 2020 Aug 28. – No. 11. – P. 1034. – DOI: 10.3389/fphys.2020.01034
30. Dalen-Lorentsen T., Andersen T.E., Børneboe J., Vagle M. et al. A cherry, ripe for picking: the relationship between the acute-chronic workload ratio and health problems // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 2021 Apr. – No. 51 (4). – Pp. 162–173.

