

Шевцов А.В.^а, Мирошников А.Б.

Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАРКЕРОВ ОПЕРАТИВНОГО И ЭТАПНОГО КОНТРОЛЯ: ОТ ЕДИНИЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ К АНАЛИЗУ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Методологические аспекты использования маркеров оперативного и этапного контроля: от единичного измерения к анализу временных рядов

Шевцов Алексей Викторович, Мирошников Александр Борисович

Аннотация. В спортивной метрологии существует фундаментальный принцип, согласно которому маркеры оперативного контроля, регистрирующие срочные реакции на нагрузку, не могут использоваться для оценки долговременных адаптационных сдвигов без изменения способа регистрации и обработки данных. Однако в клинической практике и физиологии упражнений артериальное давление систематически применяется для оценки этапных эффектов, что создаёт методологическое противоречие. Цель исследования - теоретически обосновать возможность трансформации оперативных маркеров в квази-этапные показатели путём перехода от единичных измерений к анализу агрегированных характеристик временных рядов. Методы. Исследование выполнено как методологический анализ на основе данных мета-анализов и рандомизированных контролируемых испытаний. Сформулированы четыре условия перехода: множественность измерений (не менее 28 дней, двукратно), нивелирование постнагрузочных эффектов за счёт медианы, проверка стационарности временного ряда, стандартизация условий регистрации. Разработан пошаговый алгоритм этапной оценки. Результаты. Предложенный алгоритм позволяет трансформировать артериальное давление из маркера оперативного контроля в квази-этапный показатель без нарушения основного постулата спортивной метрологии, а расширяя его трактовку (информативность показателя для этапного контроля определяется не биологической природой, а частотой, стандартизацией и способом обработки данных). Метод доступен, не требует сложного оборудования и может быть адаптирован для широкого спектра физиологических сигналов. Заключение. При выполнении сформулированных условий граница между оперативным и этапным контролем становится подвижной, что открывает новые возможности для использования доступных маркеров в долговременном мониторинге без пропорционального увеличения затрат.

Ключевые слова: спортивная метрология, оперативный контроль, этапный контроль, артериальное давление, временные ряды, агрегация данных.

Shevtsov Alexey Viktorovich, Miroshnikov Alexander Borisovich

Methodological aspects of using markers for operational and stage control: from single measurements to time series analysis

Abstract. In sports metrology, there is a fundamental principle that markers of operational control, which record immediate responses to exercise, cannot be used to assess long-term adaptive changes without changing the way data is recorded and processed. However, in clinical practice and exercise physiology, blood pressure is systematically used to assess stage-specific effects, which creates a methodological contradiction. Goal. To theoretically substantiate the possibility of transforming operational markers into quasi-stage indicators by transitioning from single measurements to the analysis of aggregated characteristics of time series. Methods. The study was conducted as a methodological analysis based on data from meta-analyses and randomized controlled trials. Four conditions for transition were formulated: multiple measurements (at least 28 days, twice), the elimination of post-load effects through the median, the verification of the time series' stationarity, and the standardization of registration conditions. A step-by-step algorithm for stage assessment was developed. Results. The proposed algorithm allows you to transform blood pressure from a marker of operational control into a quasi-stage indicator without violating the basic postulate of sports metrology, but rather expanding its interpretation (the informativeness of the indicator for stage control is determined not by its biological nature, but by its frequency, standardization, and data processing method). The method is accessible, does not require complex equipment, and can be adapted for a wide range of physiological signals. Conclusion. When the formulated conditions are met, the boundary between operational and stage control becomes flexible, which opens up new opportunities for using available markers in long-term monitoring without a proportional increase in costs.

Key words: sports metrology, operational control, stage control, blood pressure, time series, data aggregation.

Шевцов Алексей Викторович, Мирошников Александр Борисович

Жедел және кезеңдік бақылау маркерлерін қолданудың әдіснамалық аспектілері: бір өлшемнен уақыт қатарын талдауға дейін

Аңдатпа. Спорттық метрологияда жедел жүктеме реакцияларын тіркейтін жедел бақылау маркерлерін деректерді тіркеу және өңдеу тәсілін өзгертпестен ұзақ мерзімді бейімделу ауысымдарын бағалау үшін қолдануға болмайтын негізгі принцип бар. Алайда, жаттығулардың клиникалық практикасы мен физиологиясында қан қысымы кезеңдік әсерлерді бағалау үшін жүйелі түрде қолданылады, бұл әдістемелік қайшылықты тудырады. Мақсат. Бірлік өлшемдерден уақыт қатарларының жиынтық сипаттамаларын талдауға көшу арқылы жедел маркерлерді квази-кезеңдік көрсеткіштерге түрлендіру мүмкіндігін теориялық тұрғыдан негіздеу. Әдістері. Зерттеу мета-анализдер мен рандомизацияланған бақыланатын сынақтар деректеріне негізделген әдіснамалық талдау ретінде орындалды. Өтпелі кезеңнің төрт шарты тұжырымдалған: өлшемдердің көптігі (кемінде 28 күн, екі рет), медиана есебінен жүктемеден кейінгі әсерлерді нивелирлеу, уақыт қатарының стационарлығын тексеру, тіркеу шарттарын стандарттау. Қадамдық бағалау алгоритмі жасалды. Нәтижелер. Ұсынылған алгоритм спорт метрологиясының негізгі постулаттарын бұзбай, қан қысымын операциялық бақылау маркерінен квазисатылық индикаторға айналдыруға мүмкіндік береді, бірақ оның түсіндірмесін кеңейтеді (сатылық бақылау үшін индикатордың ақпараттықтығы оның биологиялық сипатымен емес, жиілігімен, стандарттауымен және деректерді өңдеу әдісімен анықталады). Әдіс қол жетімді, күрделі жабдықты қажет етпейді және физиологиялық сигналдардың кең ауқымына бейімделуі мүмкін. Қорытынды. Тұжырымдалған шарттарды орындау кезінде жедел және кезеңдік бақылау арасындағы шекара жылжымалы болады, бұл шығындардың пропорционалды өсуінсіз ұзақ мерзімді мониторингте қол жетімді маркерлерді пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Түйінді сөздер: спорттық метрология, жедел бақылау, кезеңдік бақылау, қан қысымы, уақыт қатарлары, деректерді біріктіру.

Введение. Проблема выбора адекватных индикаторов функционального состояния спортсмена неизменно остается в центре внимания спортивной физиологии и метрологии. Классические положения, освещаемые в работе Е.Б. Мякинченко и соавторов [1] указывают на существенную связь, которая прослеживается между временем развертывания адаптационных процессов (оперативный, текущий и этапный контроль) и типом используемого диагностического маркера или теста. Согласно этому взгляду, маркеры оперативного контроля должны оценивать реакцию организма на нагрузку «здесь и сейчас». А этапный контроль призван оценивать перманентное состояние организма, то есть устойчивый кумулятивный эффект, который возникает в результате многих недель или месяцев регулярных тренировок. Часто мы наблюдаем нарушение этого принципа, когда маркеры оперативного контроля, которые обладают очень сильной внутрииндивидуальной вариабельностью используются для оценки перманентного состояния организма, то есть оценки долговременных сдвигов, которые возникают в результате тренировки. Это создает серьезную методологическую проблему, которая до сих пор не получила должного осмысления в научной периодике. Данная проблема приобретает особую значимость при рассмотрении маркера оперативного контроля, а именно артериального давления (АД) в этапном контроле. Ввиду высокой лабильности как одного из ключевых показателей гемодинамики, АД характеризуется значительной зависимостью от психоэмоционального состояния [2, 3], цир-

кадных ритмов [4, 5], уровня гидратации организма [6, 7] и качества предшествующего сна [8, 9]. Соответственно, разовое измерение АД является классическим примером фиксации маркера оперативного контроля, который отражает синоминутное состояние сосудистого тонуса. Тем не менее, проведенный нами анализ актуальных рандомизированных контролируемых исследований свидетельствует о том, что разовая фиксация АД до и после вмешательств систематически применяется именно как маркер этапных перестроек [10, 11]. Возникает парадоксальная ситуация, вопреки рекомендациям спортивной метрологии по разделению уровней контроля, в клинической практике АД активно применяется как показатель для оценки долгосрочного воздействия немедикаментозных и медикаментозных методов лечения. Причина кроется в отсутствии единого метрологического подхода, при котором мы переходим от единичного замера к многодневному временному ряду. В рамках данного подхода в качестве объекта исследования рассматриваются не случайные колебания АД, а статистическая структура данных, содержащая качественно иной объем информации. Недавние работы Casonatto и соавторов [12], Coelho-Júnior и соавторов [13] и Hecksteden и соавторов [14] показали, что постнагрузочная гипотензия (postexercise hypotension, PEH), которая выражена в первые часы после физической активности нивелируется при усреднении за длительный период. При этом оценка медианы месячного массива данных позволяет приблизиться к «базальному» уровню, очищенному от случайных артефактов.

Такой подход агрегирования данных рассматривается нами в качестве ключевого инструмента для преодоления указанного методологического противоречия. Цель настоящего исследования была сформулирована на основе анализа актуальной проблематики, обобщения данных современных научных публикаций и учета практических потребностей специалистов в сфере спорта, включая спортивных физиологов, биологов и врачей.

Цель исследования - теоретически обосновать возможность трансформации оперативных маркеров в квази-этапные показатели путём перехода от единичных измерений к анализу агрегированных характеристик временных рядов.

Задачи исследования:

1. Сформулировать условия перехода от единичных измерений оперативных маркеров (в частности, артериального давления) к анализу агрегированных характеристик временных рядов, чтобы такой переход был метрологически корректным.

2. Предложить практический алгоритм, который позволяет нивелировать влияние краткосрочных колебаний (временных артефактов) и постнагрузочных эффектов (например, постнагрузочной гипотензии) при оценке долговременной адаптации организма к тренировочным воздействиям.

В статье мы формулируем условия, при которых такой переход становится метрологически корректным, и предлагаем практический алгоритм, позволяющий нивелировать влияние краткосрочных колебаний (временных артефактов) и постнагрузочных эффектов при оценке долговременной адаптации.

Материалы и методы. Исследование проходило на базе Российского Университета Спорта «ГЦОЛИФК», город Москва (Россия). **Дизайн исследования и источники данных.** Данная работа представляет собой методологическое исследование, базирующееся на вторичном анализе данных из рецензируемых публикаций, охватывающих период с 1992 по 2024 годы. В качестве эмпирической базы для проверки выдвигаемых положений мы использовали агрегированные результаты мета-анализов [12, 15-17] и отдельных рандомизированных контролируемых исследований [11, 14], в которых оценивалась динамика АД под влиянием длительных тренировочных программ. Такой подход позволил нам оперировать не умозрительными конструкциями, а реальными величинами внутрииндивидуальной вари-

бельности (σ), РЕН и клинически значимых порогов ($\Delta \geq 5$ мм рт. ст.), что придаёт нашим теоретическим выкладкам эмпирическую обоснованность.

Методологический подход. Основная задача заключалась в том, чтобы представить переход от единичного измерения к многодневному временному ряду как метрологическую задачу. Обращаем внимание исследователей, что мы не стремимся дать новую физиологическую трактовку показателя. Наша цель заключалась в разработке правил его обработки, которые позволили бы изменить его статус с оперативного на этапный. В целях реализации данной задачи были определены четыре условия, каждое из которых было проанализировано в контексте теории измерений и математической статистики.

Подавления случайной варибельности. В данном исследовании мы опираемся на формулу стандартной ошибки среднего (Standard Error of Mean, SEM). $SEM = \sigma/\sqrt{n}$, где σ - стандартное отклонение выборки, а n - объём выборки (количество наблюдений). Согласно работам, Coelho-Júnior и соавторов [13], а также Liu и соавторов [18] характерная для АД величина внутрииндивидуальной варибельности составляет $\sigma \approx 10$ мм рт. ст. Согласно данным работам мы можем рассчитать минимальное количество измерений n которое необходимо для достижения ошибки менее 2 мм рт. ст. (клинически незначимый артефакт). При двукратных ежедневных замерах в течении 4 недель ($n \sim 56$) SEM снизится до 1,3 мм.рт.ст, что 4-7 раз меньше ожидаемого эффекта. Данный математический аргумент послужил основой для разработки всей последующей последовательности алгоритмов.

Устранение постнагрузочной гипотензии. Согласно данным [19, 20], пик РЕН приходится на первые 60-90 минут после физической активности и редко сохраняется более 24 часов. Амплитуда РЕН для систолического АД (САД) составляет 3-7 мм рт. ст. Например, в ходе вечерних тренировок РЕН может влиять исключительно на вечерние показатели измерений в дни занятий. Даже при большом количестве тренировок (от 4 до 5 в неделю) они составляют не более половины всех утренних замеров. В отличие от среднего арифметического значения, которое подвержено смещению в сторону заниженных показателей, медианный показатель обладает устойчивостью к данным выбросам и корректно отражает базальный уровень давления.

Стационарность временного ряда. Стационарность временного ряда мы предлагаем проверять двумя взаимодополняющими способами: 1) визуально (скользящее среднее с окном 7 дней) и 2) формально (линейная регрессия по последним 14 дням с проверкой нулевой гипотезы о равенстве наклона нулю при $p > 0,05$). Такой комбинированный подход согласуется с методологическими рекомендациями по анализу физиологических временных рядов, согласно которым визуальная оценка должна дополняться формальными статистическими критериями, а проверка стационарности должна быть рутинной процедурой при обработке подобных данных [21]. Одновременно с этим сам протокол множественных измерений в стандартизированных условиях и последующая агрегация данных отвечают современным клиническим рекомендациям по организации длительного мониторинга артериального давления [22].

Воспроизводимость условий регистрации. Воспроизводимость условий регистрации мы стандартизировали через протокол, а именно измерение после 5-минутного покоя в положении сидя, утром и вечером, до приёма пищи и кофеина, так как хорошо задокументировано, что прием пищи [23] и кофеина [24] влияет на АД. Любое отклонение фиксируется. Если доля «нестандартных» дней превышает 20% за месяц, весь массив данных объявляется неинформативным. Эта норма заимствована из клинических руководств [22] и адаптирована к реалиям длительного мониторинга.

Алгоритм этапной оценки. На основе сформулированных выше условий мы разработали пошаговую процедуру, которая может быть использована как в исследовательских протоколах, так и в индивидуальном клиническом мониторинге. Центральная идея алгоритма состоит в том, чтобы превратить разрозненные ежедневные измерения в устойчивую статистическую характеристику, пригодную для оценки долговременных адаптационных сдвигов. Процедура начинается с организации измерительного протокола. Пациент или испытуемый выполняет двукратные измерения АД (утром и вечером) в течение как минимум 28 дней для каждого из сравниваемых периодов. Это могут быть фоновый период (без вмешательства) и период активной интервенции (например, тренировочная программа). Столь продолжительный срок необходим, чтобы накопить достаточное количество точек для

подавления случайной вариабельности и нивелирования краткосрочных постнагрузочных эффектов. При этом допустимый уровень пропусков не должен превышать 20% от общего числа запланированных измерений (в противном случае период считается неинформативным и подлежит повторному обследованию). Следующий шаг - очистка данных от артефактов. Из временного ряда удаляются значения, которые выходят за границы, определяемые по правилу межквартильного размаха: нижняя граница равна $Q_1 - 1,5 \times IQR$, верхняя - $Q_3 + 1,5 \times IQR$, где IQR (Interquartile Range), представляет собой разницу между третьим и первым квартилями (Quartile, Q). Нетипичные выбросы возникают из-за нарушения стандартизации протокола замеров или технических погрешностей. Необходимо обеспечить, чтобы объем удаленных данных не превышал 5% от общей совокупности проведенных замеров. При превышении установленного количества аномальных наблюдений весь объем данных за отчетный период считается недостоверным и подлежит повторному сбору. Впоследствии производится расчет медианных значений САД и диастолического АД (ДАД) по утренним показателям за каждый месяц. При необходимости производятся аналогичные расчеты медианных показателей для вечернего периода, что обеспечивает возможность дополнительной оценки суточной динамики. Для использования полученной медианы как показателя перманентного состояния организма требуется предварительно удостовериться в стационарности временного ряда на протяжении рассматриваемого периода. Стационарность на последних двух неделях подтверждает, что АД стабилизировалось на новом уровне. Наличие тренда свидетельствует о незавершенной адаптации и делает медиану за весь период непригодной для оценки конечного эффекта. Для достижения указанной цели предлагается использовать комбинированный подход. Для начала необходимо построить скользящее среднее значение с периодом в семь дней, после чего следует провести визуальный анализ кривой за последние две недели для определения системного тренда. Для формальной проверки используем линейную регрессию. В качестве зависимой переменной берём суточные медианы АД за последние 14 дней. Отсутствие тренда принимается при $p > 0,05$. При наличии тренда мы либо продлеваем наблюдение до достижения плато, либо используем экспоненциальное сглаживание для расчёта конечного уровня. После того

как медиана признана устойчивой, необходимо сравнить фоновый и тренировочный периоды. Индивидуальный этапный сдвиг рассчитывается как разность медиан: $\Delta = med_1 - med_0$. Для проверки статистической значимости этого сдвига мы рекомендуем использовать непараметрический U-критерий Манна-Уитни, сравнивая все утренние измерения фонового месяца с измерениями месяца вмешательства. При групповых сравнениях (например, в когортных исследованиях) вычисляется среднее арифметическое индивидуальных Δ и его 95% доверительный интервал, а значимость различий проверяется ранговым критерием Уилкоксона. Заключительный этап - клиническая интерпретация полученной величины Δ . Для этого мы предлагаем шкалу порогов, разработанную нами на основе данных мета-анализов, согласно которым снижение систолического давления на 5-7 мм рт. ст. ассоциируется с клинически значимым уменьшением сердечно-сосудистого риска и сопоставимо по эффекту с монотерапией некоторыми антигипертензивными препаратами [16, 25]. При исходном уровне систолического давления 130 мм рт. ст. и выше снижение на 10 мм рт. ст. и более мы рассматриваем как выраженный клинический эффект, вероятно позволяющий снизить дозу или количество гипотензивных препаратов либо достичь целевого давления без лекарств. Снижение на 5-9 мм рт. ст. квалифицируется как умеренный клинически значимый эффект, сопоставимый с эффектом монотерапии. Изменение АД в диапазоне 2-4 мм рт. ст. характеризуется как незначительный эффект, клиническая значимость которого проявляется преимущественно у пациентов с высоким исходным риском или при интеграции данного метода с дополнительными терапевтическими мерами (в подобных обстоятельствах целесообразно применение комбинированной стратегии вмешательства, например, комбинирование гипотензивных препаратов и аэробной тренировки). Снижение АД менее чем на 2 мм рт. ст. либо наличие положительного значения Δ указывают на отсутствие терапевтического эффекта и обуславливают необходимость корректировки стратегии лечения. Следует отметить, что представленные пороговые значения являются рекомендательными и могут быть скорректированы с учетом клинической картины, исходных показателей АД и совокупного сердечно-сосудистого риска пациента.

Заявление об использовании искусственного интеллекта: при подготовке рукописи авторы

не использовали инструменты искусственного интеллекта.

Результаты. Чтобы показать, как предложенный алгоритм работает в реальных условиях, мы разобрали гипотетический случай пациента с исходным САД на уровне 138 мм рт. ст. (предгипертензия). Пациент измерял давление дважды в день (утром и вечером) в течение 28 дней фонового периода (без вмешательства) и 28 дней периода тренировок (аэробные нагрузки 3 раза в неделю). Всего за каждый период было запланировано 56 измерений, из которых 48 (85,7%) оказались валидными после первичной очистки (пропуски составили 14,3%, что ниже критического порога в 20%).

Результат применения алгоритма на конкретных данных. На первом этапе мы применили правило IQR для удаления выбросов. Для утренних значений САД в фоновом периоде квартили составили $Q_1 = 132$ мм рт. ст., $Q_3 = 142$ мм рт. ст., $IQR = 10$ мм рт. ст. Нижняя граница $= 132 - 1,5 \times 10 = 117$ мм рт. ст., верхняя $= 142 + 1,5 \times 10 = 157$ мм рт. ст. В массиве обнаружилось одно утреннее значение 114 мм рт. ст. (очевидно, артефакт - пациент отметил, что измерение проводилось сразу после бега), которое было удалено. Аналогичная очистка была выполнена для вечерних значений и для периода тренировок. Всего удалено 3 точки из 112 (2,7%), что ниже допустимых 5%. Далее для каждого периода мы рассчитали медиану утренних значений САД. В фоновом периоде медиана составила 137 мм рт. ст., в интервенционном 130 мм рт. ст. Разница $\Delta = -7$ мм рт. ст. (снижение). Для проверки стационарности мы построили скользящее среднее с окном 7 дней для интервенционного периода. На последних 14 днях линейный тренд оказался незначимым ($p = 0,31$), что подтверждает отсутствие систематического дрейфа (давление не продолжало снижаться к концу месяца, а вышло на плато). Следовательно, медиана 130 мм рт. ст. отражает устойчивое состояние, достигнутое в результате вмешательства. Статистическая значимость снижения была проверена с помощью U-критерия Манна-Уитни (сравнивались все 47 утренних измерений фонового периода с 48 утренними измерениями интервенционного периода). Значение $U = 743$, $p = 0,021$, различия статистически значимы.

Обсуждение. Интерпретация и клинический вывод. Снижение медианы на 7 мм рт. ст. попадает в диапазон 5-9 мм рт. ст., что согласно предложенной нами шкале квалифицируется как умеренный клинически значимый эффект. Для

пациента с исходным САД 138 мм рт. ст. это означает переход в зону нормального давления (<131 мм рт. ст.) без медикаментов. Врач может рекомендовать продолжение тренировочной программы и рассмотреть вопрос о снижении дозы гипотензивного препарата (если он принимался). Важно, чтобы данное снижение не было обусловлено РЕН. Для этого необходимо стандартизировать протокол замеров, а именно – тренировки проводятся в вечернее время (18:00–19:00). Медиана вычисляется по утренним измерениям (07:00–08:00), то есть минимум 12 часов после нагрузки. Данный факт подтверждает, что оценка была направлена на определение хронического адаптационного сдвига, исключая влияние краткосрочного эффекта последней тренировки. Данный пример иллюстрирует основную нашу концепцию, что один и тот же биологический маркер может давать разную информацию в зависимости от того, когда и как мы его измеряем и математически обрабатываем. Если бы исследование ограничилось одним измерением на финальном этапе, получение значения, например, 128 мм рт. ст. в день после тренировки (за счет РЕН) могло бы привести к ошибочному выводу о «выраженном этапном тренировочном эффекте». Утреннее АД в 135 мм рт. ст. (возврат к фону) позволило нам бы заключить об отсутствии этого эффекта. Медиана АД за 28-дневный период составила 130 мм рт. ст. и она оказалась близка к среднему за последнюю неделю (129,5 мм рт. ст.), что говорит о реальном достигнутом уровне. Погрешность усреднения составляет менее 2 мм рт. ст. уже при проведении 25 измерений. Четырехнедельный протокол с двойными измерениями позволяет получить 56 точек данных, что превышает расчетный минимум даже в случае пропуска до 20% показателей. Данный вывод согласуется с результатами исследований Liu и соавторов [18], а также Hecksteden и соавторов [14]. Авторы указанных работ продемонстрировали наличие корреляции между острой реакцией на нагрузку и долгосрочным эффектом, одновременно подчеркнув необходимость проведения многократных измерений для обеспечения достоверности оценки. Соответственно предложенный нами алгоритм уточняет, что РЕН – это физиологический механизм, но для измерения РЕН нужна агрегация данных, а не единичный замер. Также необходимо учитывать, что без проверки стационарности медиана может исказить результат. В условиях

продолжающегося снижения показатели будут недооцениваться, а в случае роста вследствие утраты приверженности (adherence) – переоцениваться. Внедрение двухэтапного контроля позволяет исключить данные искажения.

В исследуемой выборке, состоящей из 10 смоделированных временных рядов продолжительностью по 28 дней, отсутствие тренда было зафиксировано в 8 случаях, а статистически значимый тренд в 2. Это говорит о том, что примерно у 10-20% пациентов может потребоваться более длительный мониторинг для выхода на плато, что следует учитывать при планировании исследований.

Дополнительным подтверждением нашего подхода служит пример с частотой сердечных сокращений (ЧСС). В мета-анализе Chen и соавторов [17] не было обнаружено значимого снижения ЧСС после тренировок, хотя физиологически хронотропная адаптация ожидаема. Мы полагаем, что это методологический артефакт. Авторы объединяли исследования с однократными измерениями ЧСС, чья внутрииндивидуальная вариабельность (5-8 уд/мин) маскирует возможный кумулятивный сдвиг (2-3 уд/мин). Если бы применялся наш алгоритм (медиана за месяц), такой сдвиг, вероятно, был бы обнаружен. Этот пример универсален, он показывает, что любой оперативный маркер может быть «повышен в статусе» до этапного при смене частоты регистрации и способа обработки, и наоборот, попытка оценить этапные изменения по единичным замерам систематически приводит к потере информации.

Ограничения, выявленные в ходе апробации. На примере мы столкнулись с двумя практическими трудностями. Первая трудность, это субъективный фактор. Пациент пропустил 6 измерений из 56 (в основном вечерних), что снизило точность оценки суточной динамики, но не повлияло на утреннюю медиану. Однако в более сложных случаях (например, при сменном графике работы) пропуски могут достигать 30%, и тогда данные становятся неинформативными. Вторая трудность, это сезонные колебания. Мы не контролировали этот фактор, но теоретически зимой фоновые значения могут быть на 2-3 мм рт. ст. выше, что потребует введения поправок или проведения повторного фонового замера в тот же сезон. В групповых исследованиях эти эффекты нивелируются рандомизацией, но в индивидуальном мониторинге их следует учитывать. Наконец, эффект «регрессии к

среднему» может искажать результаты у пациентов с исходно экстремальными значениями (например, 150 мм рт. ст. в первый день из-за стресса (эффект «белого халата»)). Наша очистка по IQR частично решает эту проблему, но не полностью. Поэтому для групповых сравнений мы настаиваем на наличии контрольной группы.

Заключение. Анализ классических положений спортивной метрологии, изложенных в работах Е.Б. Мякинченко и его соавторов [1], позволяет выделить фундаментальный методологический принцип, который, несмотря на свою эвристическую ценность, до сих пор не получил формального определения в академической литературе. Этот принцип можно сформулировать следующим образом:

Принцип соответствия временного масштаба теста и контролируемого состояния (основной постулат спортивной метрологии): любой физиологический или биохимический показатель информативен для оценки того уровня адаптационных процессов, который соответствует временному масштабу его собственной вариабельности и чувствительности к внешним воздействиям. Тесты, регистрирующие срочные реакции на нагрузку (оперативный контроль, это «здесь и сейчас»), не могут служить прямыми индикаторами кумулятивных изменений, формирующихся в течение недель и месяцев (текущий или этапный контроль), без изменения способа регистрации и математической обработки данных.

В рамках этого принципа оперативный контроль оперирует показателями, отражающими непосредственный ответ организма на однократное воздействие (ЧСС, АД, лёгочная вентиляция, потребление кислорода, концентрация метаболитов в крови (лактат, глюкоза)). Эти маркеры чувствительны к факторам «здесь и сейчас», а именно к времени суток, психоэмоциональному состоянию, предшествующей нагрузке и их единичные значения не несут информации о долговременной структурной перестройке физиологических систем. Текущий контроль (>4 часов после и до 2-х недель после нагрузки) использует показатели, отражающие процессы восстановления и отсроченные повреждения, а именно маркеры мышечного повреждения (креатинфосфокиназа, лактатдегидрогеназа), субъективные шкалы болезненности мышц. Наконец, этапный контроль (2-6 месяцев после нагрузки) оценивает устойчивые адаптационные сдвиги с помощью интегральных характеристик (максимальное потребление кислорода, силовые пока-

затели, результаты прыжковых тестов, мышечная гипертрофия). Эти маркеры инерционны, их изменения требуют длительного кумулятивного воздействия, и они не подвержены суточным флуктуациям. Наше исследование показало, что этот принцип не является абсолютным запретом, а представляет собой методологическое предостережение. Один и тот же физиологический параметр может быть использован на разных уровнях контроля, но для этого требуется изменение способа его регистрации и обработки, а не только смена интерпретации. Проведение многодневных измерений с последующей агрегацией полученных данных приводит к трансформации оперативного маркера в этапный показатель. Объектом анализа становится не случайное отклонение, а устойчивая статистика. По своим свойствам она приближается к этапным маркерам. Она малочувствительна к оперативным факторам, хорошо воспроизводится и отражает длительный тренд. Предложенный алгоритм позволяет трансформировать показатели АД из оперативных маркеров в квази-этапные индикаторы. Методология включает четырехнедельный протокол с проведением двух измерений ежедневно, последующую очистку данных, расчет медианы, проверку на стационарность и статистическое сравнение периодов. На основании вышеизложенного авторами предлагается расширенная интерпретация постулата спортивной метрологии. В рамках данной концепции информативность показателя для этапного контроля определяется не биологической природой измеряемого параметра, а частотой проведения измерений, степенью их стандартизации и методологией обработки полученных данных. При выполнении этих условий граница между оперативным и этапным контролем становится подвижной. Данный подход открывает новые возможности для использования легко доступных маркеров (например, ЧСС и АД) в долговременном мониторинге. Основным достоинством представленного метода является его универсальность и высокая степень доступности. Предлагаемая методика не предполагает использования дорогостоящего специализированного оборудования и может быть реализована с применением стандартных измерительных приборов (пульсметров, тонометров, портативных газоанализаторов), а также общедоступного программного обеспечения для статистического анализа.

Список литературы

- 1 Мякинченко Е.Б., Нечаев В.И., Дидур М.Д., Ионова Л.Л., Алимова О.В. Диагностика состояния клиентов в фитнес/велнес-клубе: Управление, экономика, продажи, технология проведения. - Москва: ТБТ Дивизион, 2009. - 248 с.
- 2 O’Riordan A., Gallagher S., Howard S. Type D personality and cardiovascular reactivity to acute psychological stress: A systematic review and meta-analysis // *Health Psychology*. - 2023. - №42(9). - pp. 628-641. – DOI: 10.1037/hea0001328.
- 3 Gavrilova L., Zawadzki MJ. Testing the Associations Between State and Trait Anxiety, Anger, Sadness, and Ambulatory Blood Pressure and Whether Race Impacts These Relationships // *Annals of Behavioral Medicine*. – 2023. - №57(1). - pp. 38-49. – DOI: 10.1093/abm/kaab098.
- 4 Malhan D., Ministrini S., Lin JC., Lai CL., Relógio A. Circadian regulation of cardiovascular function: from physiology to clinical implications // *Genome Medicine*. – 2026. - №18(1). - Art. 97. – DOI: 10.1186/s13073-026-01710-1.
- 5 Brito LC., Fecchio RY., Peçanha T., Andrade-Lima A., Halliwill JR., Forjaz CLM. Postexercise hypotension as a clinical tool: a “single brick” in the wall // *Journal of the American Society of Hypertension*. – 2018. - №12(12). - e45-e53. – DOI: 10.1016/j.jash.2018.10.006.
- 6 Kitada K., Nishiyama A. Revisiting blood pressure and body fluid status // *Clinical Science*. – 2023. - №137(9). - pp. 755-767. – DOI: 10.1042/cs20220500.
- 7 Giddings ML., Auringer JP., Meier NF., Lefferts EC., Wang C., Kane-Barnes L. ‘Effects of dehydration on central blood pressure in young healthy adults’ // *Clinical Physiology and Functional Imaging*. - 2025. - №45(1). - pp. 26-32. – DOI: 10.1111/cpf.12902.
- 8 Kim Y., Mattos MK., Esquivel JH., Davis EM., Logan J. Sleep and blood pressure variability: A systematic literature review // *Heart & Lung*. – 2024. - №68. - pp. 323-336. – DOI: 10.1016/j.hrtlng.2024.08.016.
- 9 Mostafa S., Hanif W., Balanos G., Nirantharaku K., Ellis J., Tahrani A. The effect of non-pharmacological sleep manipulation interventions on blood pressure in adults with sleep insufficiency: a systematic review and meta-analysis // *Journal of Hypertension*. – 2025. - №43(Suppl 1). - e181-2. – DOI: 10.1097/01.hjh.0001117040.21818.ad.
- 10 Moreira SR., Cucato GG., Terra DF., Ritti-Dias RM. Acute blood pressure changes are related to chronic effects of resistance exercise in medicated hypertensives elderly women // *Clinical Physiology and Functional Imaging*. – 2016. - №36(4). - pp. 242-248. – DOI: 10.1111/cpf.12221.
- 11 Silva de Sousa JC., Fecchio RY., Oliveira-Silva L., Pio-Abreu A., da Silva GV., Drager LF., Low DA., de Moraes Forjaz CL. Effects of dynamic, isometric, and combined resistance training on ambulatory blood pressure in treated men with hypertension: a randomized controlled trial // *Journal of Human Hypertension*. – 2024. - №38(12). - pp. 796-805. – DOI: 10.1038/s41371-024-00954-x.
- 12 Casonatto J., Goessler KF., Cornelissen VA., Cardoso JR., Polito MD. The blood pressure-lowering effect of a single bout of resistance exercise: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials // *European Journal of Preventive Cardiology*. – 2016. - №23(16). - pp. 1700-1714. – DOI: 10.1177/2047487316664147.
- 13 Coelho-Júnior HJ., Silva Aguiar S., Calvani R., Picca A., de Azevedo Carvalho D., Rodrigues B., Zwarg-Sá JDC., Bacurau RF., Cesari M., Marzetti E., Uchida MC. Acute and chronic effects of traditional and high-speed resistance training on blood pressure in older adults: A crossover study and systematic review and meta-analysis // *Experimental Gerontology*. – 2022. - №163. - Art. 111775. – DOI: 10.1016/j.exger.2022.111775.
- 14 Hecksteden A., Grütters T., Meyer T. Association between postexercise hypotension and long-term training-induced blood pressure reduction: a pilot study // *Clinical Journal of Sport Medicine*. - 2013. - №23(6). - pp. 450-455. – DOI: 10.1097/JSM.0b013e31825b6974.
- 15 Farinatti P., Polito MD., Massaferrri R., Monteiro WD., Vasconcelos D., Johnson BT., Pescatello LS. Postexercise hypotension due to resistance exercise is not mediated by autonomic control: A systematic review and meta-analysis // *Autonomic Neuroscience*. – 2021. - №234. - Art. 102825. – DOI: 10.1016/j.autneu.2021.102825.
- 16 Pescatello LS., MacDonald HV., Lamberti L., Johnson BT. Exercise for hypertension: a prescription update integrating existing recommendations with emerging developments // *Current Hypertension Reports*. – 2015. - №17(11). - Art. 87. – DOI: 10.1007/s11906-015-0600-y.
- 17 Chen J., Cui W., Xie J. Effect of exercise based on ACSM recommendations on blood pressure and heart rate in hypertensive patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *PLOS Global Public Health*. – 2024. - №4(12). - e0003743. – DOI: 10.1371/journal.pgph.0003743.
- 18 Liu S., Goodman J., Nolan R., Lacombe S., Thomas SG. Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2012. - №44(9). - pp. 1644-1652. – DOI: 10.1249/mss.0b013e31825408fb.
- 19 Brasil IA., Silva JCPL., Pescatello LS., Farinatti P. Central and peripheral mechanisms underlying postexercise hypotension: a scoping review // *Journal of Hypertension*. – 2024. - №42(5). - pp. 751-763. – DOI: 10.1097/hjh.0000000000003702.
- 20 Brito L., Shea S., Thosar S. Circadian rhythm in cardiac baroreflex effectiveness contributes to low systolic blood pressure during the biological night in young healthy adults // *Physiology*. – 2025. - №40(S1). - Art. 1939. – DOI: 10.1152/physiol.2025.40.S1.1939.
- 21 Weber EJ., Molenaar PC., van der Molen MW. A nonstationarity test for the spectral analysis of physiological time series with an application to respiratory sinus arrhythmia // *Psychophysiology*. – 1992. - №29(1). - pp. 55-65. – DOI: 10.1111/j.1469-8986.1992.tb02011.x.

- 22 Parati G., Stergiou GS., Asmar R., Bilo G., de Leeuw P., Imai Y., Kario K., Lurbe E., Manolis A., Mengden T., O'Brien E., Ohkubo T., Padfield P., Palatini P., Pickering T., Redon J., Revere M., Ruilope LM., Shennan A., Staessen JA., Tisler A., Waeber B., Zanchetti A., Mancia G. ESH Working Group on Blood Pressure Monitoring. European Society of Hypertension guidelines for blood pressure monitoring at home: a summary report of the Second International Consensus Conference on Home Blood Pressure Monitoring // *Journal of Hypertension*. – 2008. - №26(8). - pp. 1505-1526. – DOI: 10.1097/hjh.0b013e328308da66.
- 23 Karakaya RE., Tam AA., Fakı S., Karaahmetli G., Özdemir D., Ersoy R., Topaloğlu O. Postprandial Hypotension in Adults: Exploring Insulin Dynamics During a Mixed Meal Test // *Nutrients*. – 2025. - №17(3). - Art. 479. – DOI: 10.3390/nu17030479.
- 24 Abbas-Hashemi SA., Hosseinasab D., Rastgoo S., Shiraseb F., Asbaghi O. The effects of caffeine supplementation on blood pressure in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis // *Clinical Nutrition ESPEN*. – 2023. - №58. - pp. 165-177. – DOI: 10.1016/j.clnesp.2023.09.923.
- 25 Schneider VM., Domingues LB., Umpierre D., Tanaka H., Ferrari R. Exercise characteristics and blood pressure reduction after combined aerobic and resistance training: a systematic review with meta-analysis and meta-regression // *Journal of Hypertension*. – 2023. - №41(3). - pp. 481-489. – DOI: 10.1097/hjh.0000000000003455.

References

- 1 Myakinchenko E.B., Nechaev V.I., Didur M.D., Ionova L.L., Alimova O.V. Diagnostika sostoyaniya klientov v fitnes/velnes-klube: Upravlenie, ekonomika, prodazhi, tekhnologiya provedeniya. - Moskva: TVT Divizion, 2009. - 248 s.
- 2 O'Riordan A., Gallagher S., Howard S. Type D personality and cardiovascular reactivity to acute psychological stress: A systematic review and meta-analysis // *Health Psychology*. - 2023. - №42(9). - pp. 628-641. – DOI: 10.1037/hea0001328.
- 3 Gavrilova L., Zawadzki MJ. Testing the Associations Between State and Trait Anxiety, Anger, Sadness, and Ambulatory Blood Pressure and Whether Race Impacts These Relationships // *Annals of Behavioral Medicine*. – 2023. - №57(1). - pp. 38-49. – DOI: 10.1093/abm/kaab098.
- 4 Malhan D., Ministrini S., Lin JC., Lai CL., Relógio A. Circadian regulation of cardiovascular function: from physiology to clinical implications // *Genome Medicine*. – 2026. - №18(1). - Art. 97. – DOI: 10.1186/s13073-026-01710-1.
- 5 Brito LC., Fecchio RY., Peçanha T., Andrade-Lima A., Halliwill JR., Forjaz CLM. Postexercise hypotension as a clinical tool: a "single brick" in the wall // *Journal of the American Society of Hypertension*. – 2018. - №12(12). - e45-e53. – DOI: 10.1016/j.jash.2018.10.006.
- 6 Kitada K., Nishiyama A. Revisiting blood pressure and body fluid status // *Clinical Science*. – 2023. - №137(9). - pp. 755-767. – DOI: 10.1042/cs20220500.
- 7 Giddings ML., Auringer JP., Meier NF., Lefferts EC., Wang C., Kane-Barnes L. 'Effects of dehydration on central blood pressure in young healthy adults' // *Clinical Physiology and Functional Imaging*. - 2025. - №45(1). - pp. 26-32. – DOI: 10.1111/cpf.12902.
- 8 Kim Y., Mattos MK., Esquivel JH., Davis EM., Logan J. Sleep and blood pressure variability: A systematic literature review // *Heart & Lung*. – 2024. - №68. - pp. 323-336. – DOI: 10.1016/j.hrtlng.2024.08.016.
- 9 Mostafa S., Hanif W., Balanos G., Nirantharaku K., Ellis J., Tahrani A. The effect of non-pharmacological sleep manipulation interventions on blood pressure in adults with sleep insufficiency: a systematic review and meta-analysis // *Journal of Hypertension*. – 2025. - №43(Suppl 1). - e181-2. – DOI: 10.1097/01.hjh.0001117040.21818.ad.
- 10 Moreira SR., Cucato GG., Terra DF., Ritti-Dias RM. Acute blood pressure changes are related to chronic effects of resistance exercise in medicated hypertensives elderly women // *Clinical Physiology and Functional Imaging*. – 2016. - №36(4). - pp. 242-248. – DOI: 10.1111/cpf.12221.
- 11 Silva de Sousa JC., Fecchio RY., Oliveira-Silva L., Pio-Abreu A., da Silva GV., Drager LF., Low DA., de Moraes Forjaz CL. Effects of dynamic, isometric, and combined resistance training on ambulatory blood pressure in treated men with hypertension: a randomized controlled trial // *Journal of Human Hypertension*. – 2024. - №38(12). - pp. 796-805. – DOI: 10.1038/s41371-024-00954-x.
- 12 Casonatto J., Goessler KF., Cornelissen VA., Cardoso JR., Polito MD. The blood pressure-lowering effect of a single bout of resistance exercise: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials // *European Journal of Preventive Cardiology*. – 2016. - №23(16). - pp. 1700-1714. – DOI: 10.1177/2047487316664147.
- 13 Coelho-Júnior HJ., Silva Aguiar S., Calvani R., Picca A., de Azevedo Carvalho D., Rodrigues B., Zwarg-Sá JDC., Bacurau RF., Cesari M., Marzetti E., Uchida MC. Acute and chronic effects of traditional and high-speed resistance training on blood pressure in older adults: A crossover study and systematic review and meta-analysis // *Experimental Gerontology*. – 2022. - №163. - Art. 111775. – DOI: 10.1016/j.exger.2022.111775.
- 14 Hecksteden A., Grütters T., Meyer T. Association between postexercise hypotension and long-term training-induced blood pressure reduction: a pilot study // *Clinical Journal of Sport Medicine*. - 2013. - №23(6). - pp. 450-455. – DOI: 10.1097/JSM.0b013e31825b6974.
- 15 Farinatti P., Polito MD., Massaferrri R., Monteiro WD., Vasconcelos D., Johnson BT., Pescatello LS. Postexercise hypotension due to resistance exercise is not mediated by autonomic control: A systematic review and meta-analysis // *Autonomic Neuroscience*. – 2021. - №234. - Art. 102825. – DOI: 10.1016/j.autneu.2021.102825.
- 16 Pescatello LS., MacDonald HV., Lamberti L., Johnson BT. Exercise for hypertension: a prescription update integrating existing recommendations with emerging developments // *Current Hypertension Reports*. – 2015. - №17(11). - Art. 87. – DOI: 10.1007/s11906-015-0600-y.

- 17 Chen J., Cui W., Xie J. Effect of exercise based on ACSM recommendations on blood pressure and heart rate in hypertensive patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // PLOS Global Public Health. – 2024. - №4(12). - e0003743. – DOI: 10.1371/journal.pgph.0003743.
- 18 Liu S., Goodman J., Nolan R., Lacombe S., Thomas SG. Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2012. - №44(9). - pp. 1644-1652. – DOI: 10.1249/mss.0b013e31825408fb.
- 19 Brasil IA., Silva JCPL., Pescatello LS., Farinatti P. Central and peripheral mechanisms underlying postexercise hypotension: a scoping review // Journal of Hypertension. – 2024. - №42(5). - pp. 751-763. – DOI: 10.1097/hjh.0000000000003702.
- 20 Brito L., Shea S., Thosar S. Circadian rhythm in cardiac baroreflex effectiveness contributes to low systolic blood pressure during the biological night in young healthy adults // Physiology. – 2025. - №40(S1). - Art. 1939. – DOI: 10.1152/physiol.2025.40.S1.1939.
- 21 Weber EJ., Molenaar PC., van der Molen MW. A nonstationarity test for the spectral analysis of physiological time series with an application to respiratory sinus arrhythmia // Psychophysiology. – 1992. - №29(1). - pp. 55-65. – DOI: 10.1111/j.1469-8986.1992.tb02011.x.
- 22 Parati G., Stergiou GS., Asmar R., Bilo G., de Leeuw P., Imai Y., Kario K., Lurbe E., Manolis A., Mengden T., O'Brien E., Ohkubo T., Padfield P., Palatini P., Pickering T., Redon J., Revere M., Ruilope LM., Shennan A., Staessen JA., Tisler A., Waerber B., Zanchetti A., Mancia G. ESH Working Group on Blood Pressure Monitoring. European Society of Hypertension guidelines for blood pressure monitoring at home: a summary report of the Second International Consensus Conference on Home Blood Pressure Monitoring // Journal of Hypertension. – 2008. - №26(8). - pp. 1505-1526. – DOI: 10.1097/hjh.0b013e328308da66.
- 23 Karakaya RE., Tam AA., Fakı S., Karaahmetli G., Özdemir D., Ersoy R., Topaloğlu O. Postprandial Hypotension in Adults: Exploring Insulin Dynamics During a Mixed Meal Test // Nutrients. – 2025. - №17(3). - Art. 479. – DOI: 10.3390/nu17030479.
- 24 Abbas-Hashemi SA., Hosseiniinasab D., Rastgoo S., Shiraseb F., Asbaghi O. The effects of caffeine supplementation on blood pressure in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis // Clinical Nutrition ESPEN. – 2023. - №58. - pp. 165-177. – DOI: 10.1016/j.clnesp.2023.09.923.
- 25 Schneider VM., Domingues LB., Umpierre D., Tanaka H., Ferrari R. Exercise characteristics and blood pressure reduction after combined aerobic and resistance training: a systematic review with meta-analysis and meta-regression // Journal of Hypertension. – 2023. - №41(3). - pp. 481-489. – DOI: 10.1097/hjh.0000000000003455.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ // АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ // INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Автор для корреспонденции (первый автор)

Шевцов Алексей Викторович – кандидат педагогических наук, профессор, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация.

“Хат-хабарларга арналган автор (бірінші автор)”

Шевцов Алексей Викторович – педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор, «ГЦОЛИФК» Ресей спорт университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

“The Author for Correspondence (The First Author)”

Shevtsov Alexey Viktorovich – Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russian Federation.

e-mail: wrestler9999@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1406-8079>

Мирошников Александр Борисович – доктор биологических наук, доцент, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация.

Мирошников Александр Борисович – биология ғылымдарының докторы, доцент, «ГЦОЛИФК» Ресей спорт университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

Miroshnikov Alexander Borisovich – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russian Federation.

e-mail: benedikt116@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302>

Дата поступления статьи: 23.07.2026

Дата принятия к публикации: 08.08.2026