

КОНТРОЛЬ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОГО АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА У ЛЫЖНИЦ В ТРЕНИРОВКАХ СРЕДНЕЙ И ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Е.А. Реуцкая, Е.В. Щапов

Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия

Аннотация

Цель исследования – выявить взаимосвязь пороговых значений интенсивности во время теста для оценки специальной выносливости у высококвалифицированных лыжниц, определяемых по точкам накопления лактата методом OBLA и методом мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца (DFAa-1), а также их прикладную значимость при оценке тренировочной нагрузки в тренировках средней и высокой интенсивности.

Методы и организация исследования: в исследовании проанализированы показатели времени прохождения кругов, запись R-R интервалов, ЧСС, значения показателей лактата, субъективное восприятие нагрузки (RPE) в тесте со ступенчато-возрастающей нагрузкой на лыжероллерах в этапном контроле (май, июль, октябрь) у 6 высококвалифицированных лыжниц. Эти же показатели были зафиксированы у лыжниц во время тренировок средней и высокой интенсивности с июня по октябрь. Все данные были импортированы в ПО Kubios HRV Scientific 4.0.1 (Финляндия). Определение пороговых параметров нагрузки осуществлялось по значениям DFAa-1 = 0,75 для аэробного порога и DFAa-1 = 0,5 для анаэробного порога. Для анализа данных использовались методы математической статистики.

Результаты исследования: выявлены сильные взаимосвязи DFAa-1 с показателями в ступенчатом тесте на лыжероллерах, показана динамика снижения показателя DFAa-1 при росте интенсивности, отражающая напряжение регуляторных систем как в ступенчатом тесте с возрастающей нагрузкой, так и в тренировках со средней и высокой интенсивностью.

Заключение. Для использования метода мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца в мониторинге тренировочной нагрузки средней и высокой интенсивности у высококвалифицированных спортсменов требуется определение индивидуальных пороговых значений DFAa-1. Высококвалифицированные лыжницы-гонщицы при определении пороговых значений методом точек накопления лактата демонстрируют аэробный порог на уровне DFAa-1 = 0,59, а анаэробный порог – при DFAa-1 = 0,42.

Ключевые слова: высококвалифицированные лыжницы-гонщицы, тренировочная нагрузка, интенсивность, порог анаэробного обмена, текущий контроль, вариабельность ритма сердца, мультифрактальный анализ.

TRAINING LOAD CONTROL BASED ON THE METHOD OF NONLINEAR ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN FEMALE SKIERS DURING MEDIUM AND HIGH INTENSITY TRAINING

E.A. Reutskaya, e-mail: niideu@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6279-932X

E.V. Shchapov, e-mail: niideu@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4558-9392

Siberian State University of Physical Culture and Sports, Omsk, Russia

Abstract

The research purpose is to identify the relationship between intensity threshold values during a test to assess special endurance in elite female skiers, determined by lactate accumulation points using the OBLA method and the multifractal analysis of heart rate variability (DFAa-1), as well as their applied significance in assessing training load in medium and high intensity training.

Methods and organization of the research. The study analyzed lap times, R-R interval recording, HR, lactate values, subjective perception of exertion (RPE) in a stepwise increasing load test on roller skis in a staged control (May, July, October) in 6 elite female skiers. The same indicators were recorded in female skiers during medium and high intensity training from June to October. All data were imported into Kubios HRV Scientific 4.0.1 software (Finland). Load threshold parameters of the load were determined using DFAa-1 = 0.75 for the aerobic threshold and DFAa-1 = 0.5 for the anaerobic threshold. Methods of mathematical statistics were used to analyze the data.

Research results. Strong relationships between DFAa-1 and the indicators in the step test on roller skis were revealed. The dynamics of the decrease in the DFAa-1 indicator with an increase in intensity was shown, reflecting the tension of the regulatory systems both in the step test with increasing load and in training with medium and high intensity.

Conclusion. To use the method of multifractal analysis of heart rate variability in monitoring the training load of medium and high intensity in highly qualified athletes, the determination of individual DFAa-1 threshold values is required. Highly qualified female skiers, when determining threshold values using the lactate accumulation point method, demonstrate an aerobic threshold at the level of DFAa-1 = 0.59, and an anaerobic threshold at DFAa-1 = 0.42.

Keywords: elite female cross-country skiers, training load, intensity, anaerobic threshold, ongoing monitoring, heart rate variability, multifractal analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Данные последних исследований в области анализа вариабельности ритма сердца (ВРС) показывают новые возможности для мониторинга регуляции ритма сердца во время физической нагрузки с помощью нелинейных методов анализа [12]. Высокая активация центрального контура регуляции во время физических упражнений, даже низкой и умеренной интенсивности, делает невозможным отличить дальнейшее увеличение интенсивности нагрузки с применением линейных значений вариабельности ритма сердца (SDNN, RMSSD) и частотных значений (LF, HF, VLF, LF/HF) в связи с появлением шума в получаемом сигнале [8].

В свою очередь, нелинейные методы анализа вариабельности ритма сердца оценивают не амплитуду изменчивости, а качественные характеристики структуры, динамику сигнала и взаимодействие регуляторных систем [9, 18]. В последнее время получило распространение использование непосредственно во время физической нагрузки мультифрактального анализа сигнала – «detrended fluctuation analysis» (DFA).

Значения DFA альфа-1 (DFAa-1) изменяются в зависимости от состояния организма и физической активности. Градация функционального состояния по значениям DFAa-1 была предложена М.М. Лапкиным с соавторами (2012): от 1,5 до 1,7 – срыв адаптации; от 1,1 до 1,5 – напряжение; от 0,8 до 1,1 – относительный физиологический покой; от 0,5 до 0,8 – состояние

утомления или сна [1]. Однако автором не было предложено физиологического обоснования интерпретации данной градации применительно к практике спорта.

В более новых исследованиях предложен другой подход к интерпретации данных, получаемых методом DFA. По данным ряда авторов, снижение и повышение значений DFAa-1 от «единицы» говорит о повышенных рисках заболеваемости независимо от возраста и группы исследуемых [10, 17]. В покое, когда соблюдается баланс отделов вегетативной нервной системы, значение DFAa-1 равно единице. При росте значений и приближении их к «1,5» ритм будет иметь высокую корреляцию, отражающую взаимосвязь систем регуляции. Область выше единицы характерна для нагрузок низкой интенсивности, периодов восстановления после высокоинтенсивных интервалов. При снижении значения DFAa-1 к «0,5» и ниже значения имеют низкую корреляцию, меньшую изменчивость. Область между «1,0 и 0,5» характерна при нагрузках средней интенсивности. Далее происходит стабилизация на значении «0,5» или дальнейшее снижение, что характерно для нагрузок высокой интенсивности [7, 13].

Ряд исследований сконцентрирован на использовании DFAa-1 для определения аэробного и анаэробного порога. Так, В. Rogers et al. (2021) выявили абсолютные значения DFAa-1 в «0,75» и «0,5», имеющие высокую взаимосвязь с первым и вторым вентиляционными порогами соответственно, в тесте со ступенчато-возрастающей

нагрузкой на беговой дорожке в группе бегунов-любителей [13]. Последующие исследования подтвердили данные взаимосвязи на смешанной группе нетренированных и тренированных женщин [15], нетренированных мужчин [16], у элитных велосипедистов [11], у элитных триатлонистов для первого лактатного порога [14], у спортсменов лыжного фристайла [4].

С другой стороны, П.А. Сиделев с соавторами (2023), проанализировав значения DFAa-1 при вентиляционных порогах у высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта (в конькобежном спорте и триатлоне), выявили, что при аэробном пороге DFAa-1 составил 0,6, а при анаэробном пороге – 0,4 [3]. Такое расхождение авторы связывают с более высокими значениями по интенсивности относительно МПК и ЧСС, чем у спортсменов-любителей.

Таким образом, на текущий период DFAa-1 противопоставляется более дорогим и/или инвазивным методам определения порогов интенсивности как надежный и валидный показатель. С другой стороны, имеются противоречивые данные по стандартизации абсолютных значений в «0,75» и «0,5» как маркеров определения пороговых значений интенсивности и дальнейшего его использования как параметра, отражающего уровень «тренировочного стресса» во время тренировочных занятий. Данные противоречия требуют рассмотрения в ходе исследований на разных группах спортсменов, в том числе возможности его использования в практике лыжных гонок.

В нашем исследовании **предполагалось**, что определение пороговых значений интенсивности, используя методы мультифрактального анализа сердечного ритма в рамках текущего и этапного контроля у лыжниц-гонщиц, позволит в последующем дать оценку выполняемой нагрузке в тренировках средней и высокой интенсивности.

Цель исследования – выявить взаимосвязь пороговых значений интенсивности во время теста для оценки специальной выносливости у высококвалифицированных лыжниц, определяемых по точкам накопления лактата методом ОБЛА и методом мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца (DFAa-1), а также их прикладную значимость при оценке тренировочной нагрузки в тренировках средней и высокой интенсивности.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование проводилось в рамках выполнения государственной работы («проведение научного исследования») для подведомственных Министерству спорта Российской Федерации научных организаций и образовательных организаций высшего образования на 2024 год. Исследование включало в себя 2 этапа. На первом этапе, во время этапного контроля (май, июль, октябрь), были собраны данные 18 результатов ступенчатого теста на лыжероллерах, проведенного по методике Д.В. Попова (2014), у 6 высококвалифицированных лыжниц-гонщиц [2]. Данные включали хронометраж кругов, запись R-R интервалов и ЧСС, значения показателей лактата, субъективное восприятие нагрузки (RPE).

Второй этап исследования включал в себя анализ записей аналогичных параметров во время тренировок средней и высокой интенсивности. Тренировки средней и высокой интенсивности были распределены в течение всего подготовительного периода. Всего было зафиксировано 18 тренировок средней и высокой интенсивности в период с июня по октябрь. В общей сложности было отобрано и проанализировано 126 временных интервалов, включающих в себя данные о параметрах функциональной нагрузки.

Для записи интервалов R-R использовался монитор сердечного ритма Polar H10 (Финляндия). Запись осуществлялась в течение всей тренировки. Всего было собрано 265 записей временных интервалов тренировок со средней и высокой интенсивностью, 18 записей полевого теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой. Далее данные были сохранены и импортированы в ПО Kubios HRV Scientific 4.0.1 (Финляндия). Для анализа были отобраны последние 2 минуты нагрузки перед тем, как спортсмену проводили забор крови для определения лактата. Настройки обработки кардиоинтервалов были сохранены по умолчанию. Был применен фильтр автоматической коррекции ритма. Интервалы, показавшие уровень артефактов выше 5%, были исключены из анализа (всего исключено 8 интервалов). Ширина окна DFAa-1 была установлена на уровне $4 \leq n \leq 16$ ударов. Определение пороговых параметров нагрузки осуществлялось по методике В. Rogers et al. [13] по значениям DFAa-1 = 0,75 для аэробного порога и DFAa-1 = 0,5 для анаэробного порога.

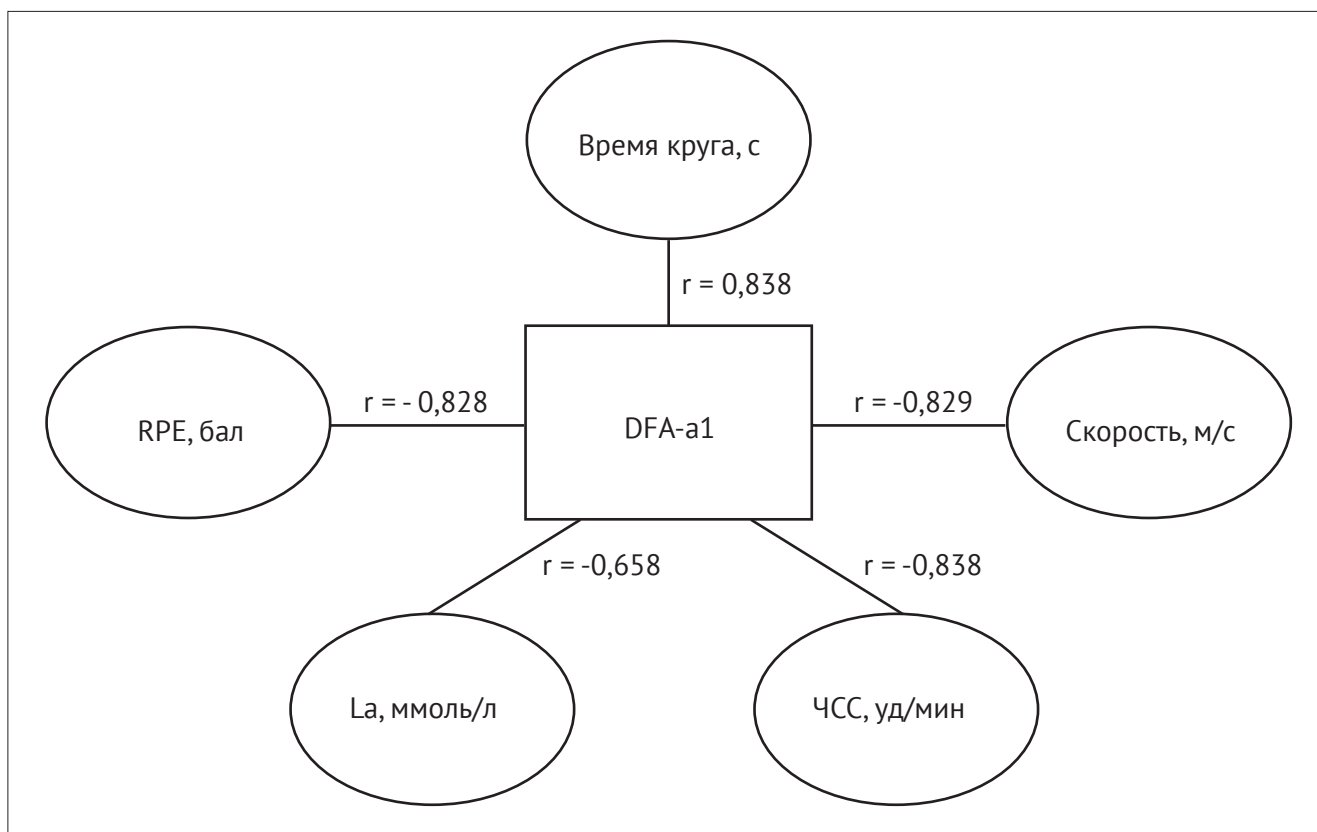


Рисунок 1 – Взаимосвязь показателя DFAa-1 с результатами ступенчатого теста на лыжероллерах у лыжниц-гонщиц
 Figure 1 – Correlation between DFAa-1 index and results of step test on roller skis in female skiers

Определение лактата в капиллярной крови в этапном и текущем контроле осуществлялось при помощи портативного анализатора Nova Lactate Plus (США). Определение пороговых значений интенсивности осуществлялось по лактатной кривой с помощью метода точек накопления лактата – OBLA, характерных для аэробного порога при 2 ммоль/л, для анаэробного порога – при 4 ммоль/л.

Для анализа использовались методы математической статистики, методы непараметрического анализа, корреляция Спирмена. Уровень корреляции оценивался следующим образом: 0,5-0,69 – умеренная, 0,7-0,99 – сильная. Статистическая значимость принималась равной $p \leq 0,05$. Анализ проводился с помощью Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе корреляционного анализа показателя мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца DFAa-1 с показателями ступенчатого теста на лыжероллерах у лыжниц-гонщиц была выявлена сильная прямая взаимосвязь DFAa-1 с

временем круга, сильная обратная взаимосвязь DFAa-1 со скоростью передвижения, ЧСС, субъективным восприятием нагрузки (RPE). Умеренная обратная взаимосвязь обнаружена между DFAa-1 и уровнем лактата в крови (рисунок 1).

Таким образом, уменьшение значения DFAa-1 отражает рост напряжения систем регуляции во время теста с возрастающей нагрузкой у лыжниц-гонщиц. Данная взаимосвязь позволяет подтвердить возможность использования данного маркера для определения уровня нагрузки в ходе ступенчатых тестирований. Тем не менее необходимо определить наличие пороговых значений DFAa-1, которые могли бы с большей долей вероятности соответствовать значениям аэробного и анаэробного порога.

Проведенные нами исследования показали, что в 17 результатах тестирований лыжниц-гонщиц показатели DFAa-1, соответствующие аэробному и анаэробному порогу, не имели единых и даже приближенных значений между собой. Пороговые значения, определенные методом OBLA, показали более высокие абсолютные значения ЧСС по сравнению с методом DFAa-1. С другой

Таблица – Характеристики функциональной нагрузки в тренировках средней и высокой интенсивности у лыжниц-гонщиц
 Table – Characteristics of functional load in training of medium and high intensity in female skiers

Спортсмен Athlete	Низкая интенсивность, до 2 ммоль/л (n=36) Low intensity			Средняя интенсивность, 2-4 ммоль/л (n=36) Average intensity			Высокая интенсивность, выше 4 ммоль/л (n=54) High intensity		
	ЧСС, уд/мин Heart rate, bpm	La, ммоль/л La, mmol/l	DFA-a1	ЧСС, уд/мин Heart rate, bpm	La, ммоль/л La, mmol/l	DFA-a1	ЧСС, уд/мин Heart rate, bpm	La, ммоль/л La, mmol/l	DFA-a1
1	152,4	1,5	0,49	164,1	2,9	0,32	174,7	10,9	0,21
2	164,8	1,5	0,48	177,0	2,4	0,41	181,3	7,9	0,33
3	155,0	1,6	0,38	157,4	2,7	0,44	172,9	8,0	0,34
4	168,6	1,8	0,59	168,6	2,6	0,44	181,6	8,4	0,27
5	164,7	1,5	0,51	169,0	2,8	0,50	174,7	8,3	0,35
6	159,8	1,8	0,53	167,6	3,1	0,40	178,0	8,8	0,32
X	160,9	1,6	0,50	167,3	2,7	0,42	177,2	8,7	0,30
σ	6,3	0,1	0,07	6,4	0,3	0,06	3,7	1,1	0,05

Примечание: n – количество проанализированных интервалов; ЧСС – частота сердечных сокращений, La – лактат; X – среднее значение; σ – стандартное отклонение

Note: n – number of analyzed intervals; HR – heart rate, La – lactate; X – mean value; σ – standard deviation

стороны, в исследовании, проведенном на высококвалифицированных лыжниках-гонщиках S.L. Carter, I. Newhouse (2019), показали, что ни один из 6 методов определения анаэробного порога по значениям уровня лактата в крови не показал единых результатов [6].

Для оценки возможности использования показателя DFAa-1 в тренировочном процессе в таблице представлена характеристика функциональной нагрузки в тренировках средней и высокой интенсивности у лыжниц-гонщиц.

В таблице данные 6 спортсменок сгруппированы по значениям ЧСС, DFAa-1, уровню лактата в интервалах нагрузки по трем направленностям тренировок: низкая интенсивность – до 2 ммоль/л, средняя интенсивность – 2-4 ммоль/л, высокая интенсивность – свыше 4 ммоль/л.

В тренировках средней и высокой интенсивности средние показатели не имеют значительных расхождений по значениям DFAa-1 и значениям лактата. При этом, если обратить внимание на индивидуальные функциональные показатели тренировок, можно отметить противоречивые значения в DFAa-1 у спортсменки 3 как значительно низкие, отражающие высокое напряжение регуляторных систем при тренировках с низкой интенсивностью до 2 ммоль/л. Тем не менее у большинства спортсменок наблюдается динамика снижения DFAa-1 при увеличении интенсивности, что также наблюдалось в ступенчатом тестировании на лыжероллерах. Лыжницы-

гонщицы при определении пороговых значений методом точек накопления лактата демонстрируют аэробный порог на уровне DFAa-1 = 0,59, а анаэробный порог – при DFAa-1 = 0,42.

Корреляционный анализ между показателями, полученными в тестировании на лыжероллерах и в тренировках средней и высокой интенсивности, представлен на рисунке 2.

Сильная прямая взаимосвязь выявлена между следующими показателями:

- ЧСС в ступенчатом тесте на лыжероллерах на уровне DFAa-1 = 0,75 и рядом функциональных показателей в тренировках средней и высокой интенсивности: ЧСС в интервалах 1-го типа; значениями лактата в интервалах 1-го типа; DFAa-1 в интервалах 1-го типа; ЧСС в интервалах 3-го типа;
- ЧСС в ступенчатом тесте на лыжероллерах на уровне DFAa-1 = 0,5 и значениями лактата в интервалах 1-го типа;
- ЧСС в ступенчатом тесте на лыжероллерах на уровне лактата 2 ммоль/л и функциональными показателями в тренировках средней и высокой интенсивности: ЧСС в интервалах 1-го типа; DFAa-1 в интервалах 1-го типа;
- ЧСС в ступенчатом тесте на лыжероллерах на уровне лактата 4 ммоль/л и функциональными показателями в тренировках средней и высокой интенсивности: ЧСС в интервалах 1-го типа; ЧСС в интервалах 2-го типа; ЧСС в интервалах 3-го типа;

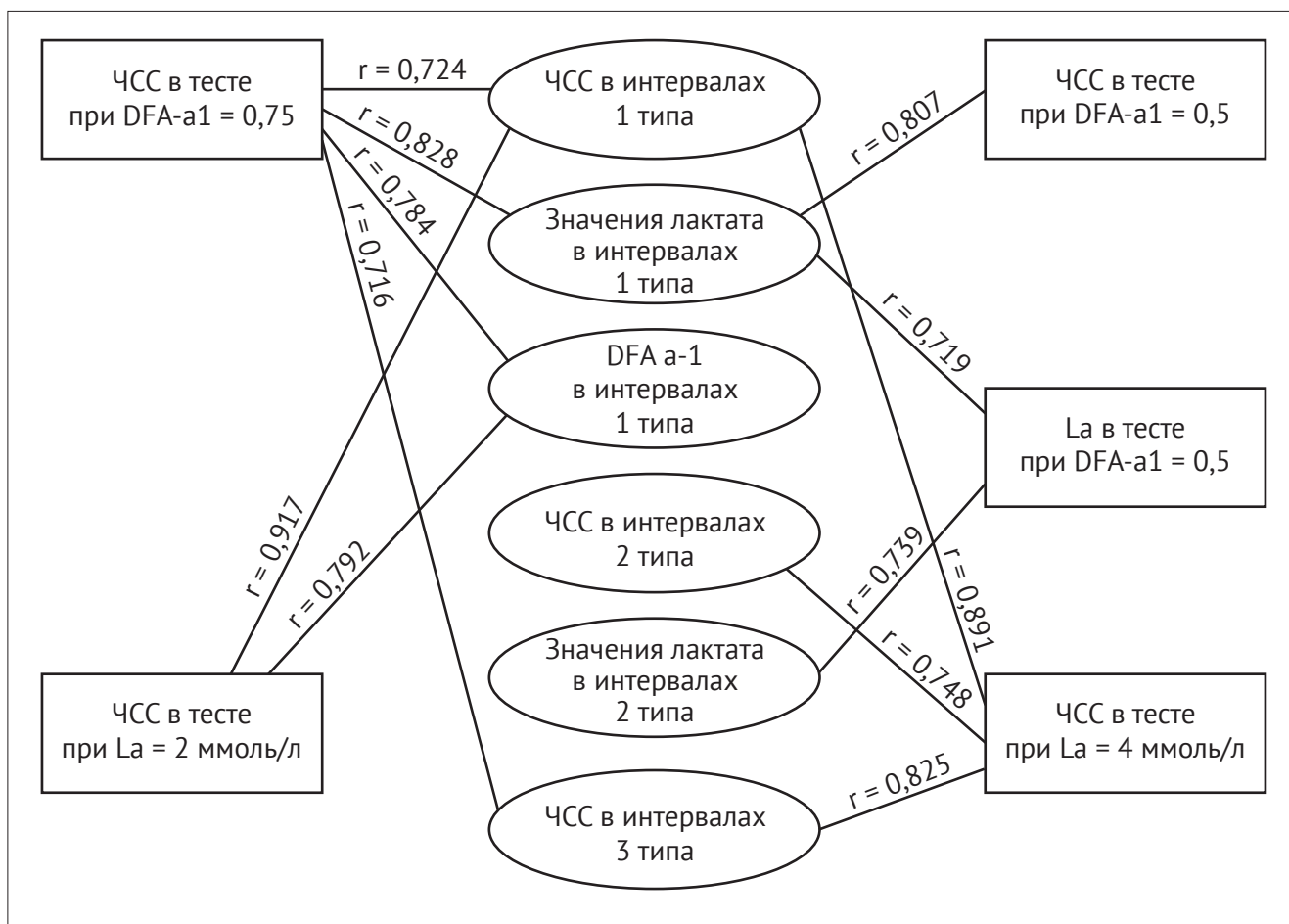


Рисунок 2 – Взаимосвязь показателей ступенчатого теста на лыжероллерах и интервальных тренировок у лыжниц-гонщиц
 Figure 2 – Relationship between roller ski step test and interval training in female skiers

– уровнем лактата в тесте на лыжероллерах при значениях DFAa-1 = 0,5 и функциональными показателями в тренировках средней и высокой интенсивности: значениями лактата в интервалах 1-го типа; ЧСС в интервалах 3-го типа.

Таким образом, определение пульсовых параметров на пороговых значениях по уровню лактата методом OBLA показало практичность при тренировках с высокой интенсивностью, в то время как методом DFAa-1 = 0,5 – при тренировках на аэробном пороге со средней интенсивностью.

На сегодняшний день более практичным и разработанным в анализе нагрузок средней и высокой интенсивности у лыжников-гонщиков является определение уровня лактата по сравнению с методом мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца DFAa-1. Определенные ведущими исследователями значения DFAa-1, равные «0,75» и «0,5», отражающие аэробный и анаэробный порог соот-

ветственно, не показали в нашем исследовании взаимосвязи с пороговыми значениями, определенными по уровню лактата. Данные различия у высококвалифицированных спортсменов могут быть связаны с необходимостью определения индивидуальных показателей DFAa-1, соответствующих аэробному и анаэробному порогу, что также отмечалось в исследованиях П.А. Сиделева (2023), Е.В. Федотовой (2023), проведенных на высококвалифицированных спортсменах [3, 5].

Выявленное нами наличие сильных взаимосвязей DFAa-1 с показателями в ступенчатом тесте на лыжероллерах, наличие динамики DFAa-1 при росте интенсивности, отражающей напряжение регуляторных систем как в ступенчатом тесте с возрастающей нагрузкой, так и в тренировках со средней и высокой интенсивностью, предполагает возможность использования данного метода для определения пороговых значений как альтернативу более дорогостоящим процедурам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значения мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца (DFAa-1) отражают напряженность регуляторных систем организма во время теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой на лыжероллерах и имеют сильные взаимосвязи с показателями скорости передвижения, частоты сердечных сокращений, субъективного восприятия нагрузки (RPE) и уровнем лактата. Определение пульсовых характеристик пороговых значений с использованием метода OBLA и мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца DFAa-1 не показали согласованных результатов, тем не менее оба метода имели ряд взаимосвязей с характеристиками функциональной нагрузки в тренировках средней и высокой интенсивности. У лыжниц-гонщиц определение

пульсовых параметров при определении пороговых значений по уровню лактата методом OBLA = 4 ммоль/л показали практичность при тренировках на уровне анаэробного порога, в то время как метод DFAa-1 = 0,5 – при тренировках на аэробном пороге со средней интенсивностью. Для использования метода мультифрактального анализа вариабельности ритма сердца в мониторинге тренировочной нагрузки средней и высокой интенсивности у высококвалифицированных спортсменов требуется определение индивидуальных пороговых значений DFAa-1. Высококвалифицированные лыжницы-гонщицы при определении пороговых значений методом точек накопления лактата демонстрируют аэробный порог на уровне DFAa-1 = 0,59, а анаэробный порог – при DFAa-1 = 0,42.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лапкин, М. М. Фрактально-флуктуационный анализ нелинейных компонентов сердечного ритма для параметризации функционального состояния человека / М. М. Лапкин, С. П. Вихров, А. В. Алпатов, М. Ю. Митрофанова // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2012. – № 8. – С. 98-108.
2. Попов, Д. В. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне / Д. В. Попов, А. А. Грушин, О. Л. Виноградова. – М. : Советский спорт, 2014. – 78 с.
3. Сиделев, П. А. Контроль интенсивности нагрузок и утомления с помощью методов нелинейного анализа вариабельности сердечного ритма / П. А. Сиделев, С. С. Миссина, Е. А. Сигов // Актуальные вопросы развития теории и методики физической культуры и спорта : сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования государственного органа управления в сфере физической культуры и спорта и 90-летию Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, 16-17 ноября 2023 года. – Москва : Федеральный научный центр физической культуры и спорта, 2023. – С. 659-666.
4. Федотова, Е. В. Идентификация пороговых значений ЧСС ски-кроссеров высокого класса с использованием методов нелинейного анализа вариабельности сердечного ритма / Е. В. Федотова, П. А. Сиделев // Экстремальная деятельность человека. – 2023. – № 2(66). – С. 48-52.
5. Федотова, Е. В. Перспективы использования показателей нелинейного анализа вариабельности ритма сердца в качестве маркеров функционального состояния организма спортсмена при выполнении тренировочных и тестирующих нагрузок // Теория и практика физической культуры. – 2023. – № 10. – С. 45-47.
6. Carter, S. L. Agreement among six methods of predicting the anaerobic lactate threshold in elite cross-country skiers / S. L. Carter, I. Newhouse // International journal of exercise science. – 2019. – № 2. – Vol. 12. – P. 155.
7. Gronwald, T. Non-linear dynamics of heart rate variability during incremental cycling exercise / T. Gronwald, O. Hoos, S. Ludyga, K. Hottenrott // Research in Sports Medicine. – 2019. – № 1. – Vol. 27. – P. 88-98.
8. Gronwald, T. Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review / T. Gronwald, O. Hoos // Annals of Noninvasive Electrocardiology. – 2020. – № 1. – Vol. 25. – P. e12697.
9. Hottenrott, K. Heart rate variability analysis in exercise physiology / K. Hottenrott, O. Hoos // ECG time series variability analysis. – CRC Press, 2017. – P. 249-280.
10. Huikuri, H. V. Clinical impact of evaluation of cardiovascular control by novel methods of heart rate dynamics / H. V. Huikuri, J. S. Periomaki, R. Maestri, G. D. Pinno // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2009. – № 1892. – Vol. 367. – P. 1223-1238.
11. Mateo-March, M. Validity of detrended fluctuation analysis of heart rate variability to determine intensity thresholds in elite cyclists / M. Mateo-March, M. Moya-Ramon, A. Javaloyes, C. Sanchez-Munoz, V.J. Clemente-Suarez // European journal of sport science. – 2023. – № 4. – Vol. 23. – P. 580-587.
12. Michael, S. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals – a review / S. Michael, K. S. Graham, G. M. Davis // Frontiers in physiology. – 2017. – Vol. 8. – P. 301.
13. Rogers, B. A new detection method defining the aerobic threshold for endurance exercise and training prescription

- based on fractal correlation properties of heart rate variability / B. Rogers, D. Giles, N. Draper, O. Hoos, T. Gronwald // *Frontiers in physiology*. – 2021. – Vol. 11. – P. 596567.
14. Rogers, B. An index of non-linear HRV as a proxy of the aerobic threshold based on blood lactate concentration in elite triathletes / B. Rogers, S. Berk, T. Gronwald // *Sports*. – 2022. – № 2. – Vol. 10. – P. 25.
 15. Schaffarczyk, M. Validation of a non-linear index of heart rate variability to determine aerobic and anaerobic thresholds during incremental cycling exercise in women / M. Schaffarczyk, B. Rogers, R. Reer, T. Gronwald // *European journal of applied physiology*. – 2023. – № 2. – Vol. 123. – P. 299-309.
 16. Sempere-Ruiz, N. Reliability and validity of a non-linear index of heart rate variability to determine intensity thresholds / N. Sempere-Ruiz, J. M. Sarabia, S. Baladzaeva, M. Moya-Ramon // *Frontiers in physiology*. – 2024. – Vol. 15. – P. 1329360.
 17. Sen, J. Fractal analysis of heart rate variability as a predictor of mortality: A systematic review and meta-analysis / J. Sen, D. McGill // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. – 2018. – № 7. – Vol. 28. – P. 72101.
 18. Shaffer, F. An overview of heart rate variability metrics and norms / F. Shaffer, J. P. Ginsberg // *Frontiers in public health*. – 2017. – Vol. 5. – P. 258.
- REFERENCES:**
1. Lapkin, M. M. Fractal-fluctuation analysis of nonlinear components of heart rate for parameterization of human functional state / M. M. Lapkin, S. P. Vikhrov, A. V. Alpatov, M. Yu. Mitrofanova // *Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I.P. Pavlov*. – 2012. – № 8. – P. 98-108.
 2. Popov, D. V. Physiological bases for assessing aerobic capabilities and selecting training loads in skiing and biathlon / D. V. Popov, A. A. Grushin, O. L. Vinogradova. – M.: Soviet Sport, 2014. – 78 p.
 3. Sidelev, P. A. Monitoring of load intensity and fatigue using methods of nonlinear analysis of heart rate variability / P. A. Sidelev, S. S. Missina, E. A. Sigov // *Actual issues of the development of the theory and methodology of physical culture and sports: collection of materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the formation of a state governing body in the field of physical culture and sports and the 90th anniversary of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Physical Culture and Sports" Moscow, November 16-17, 2023*. – Moscow: Federal Scientific Center for Physical Culture and Sports, 2023. – P. 659-666.
 4. Fedotova, E. V. Identification of threshold values of the heart rate of high-class ski crossers using methods of nonlinear analysis of heart rate variability / E. V. Fedotova, P. A. Sidelev // *Extreme human activity*. – 2023. – № 2(66). – P. 48-52.
 5. Fedotova E. V. Prospects for the use of indicators of non-linear analysis of heart rate variability as markers of the functional state of an athlete's body when performing training and testing loads // *Theory and practice of physical culture*. – 2023. – № 10. – P. 45-47.
 6. Carter, S. L. Agreement among six methods of predicting the anaerobic lactate threshold in elite cross-country skiers / S. L. Carter, I. Newhouse // *International journal of exercise science*. – 2019. – № 2. – Vol. 12. – P. 155.
 7. Gronwald, T. Non-linear dynamics of heart rate variability during incremental cycling exercise / T. Gronwald, O. Hoos, S. Ludyga, K. Hottenrott // *Research in Sports Medicine*. – 2019. – № 1. – Vol. 27. – P. 88-98.
 8. Gronwald, T. Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review / T. Gronwald, O. Hoos // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. – 2020. – № 1. – Vol. 25. – P. e12697.
 9. Hottenrott, K. Heart rate variability analysis in exercise physiology / K. Hottenrott, O. Hoos // *ECG time series variability analysis*. – CRC Press, 2017. – P. 249-280.
 10. Huikuri, H. V. Clinical impact of evaluation of cardiovascular control by novel methods of heart rate dynamics / H. V. Huikuri, J. S. Periomaki, R. Maestri, G. D. Pinno // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2009. – № 1892. – Vol. 367. – P. 1223-1238.
 11. Mateo-March, M. Validity of detrended fluctuation analysis of heart rate variability to determine intensity thresholds in elite cyclists / M. Mateo-March, M. Moya-Ramon, A. Javaloyes, C. Sanchez-Munoz, V. J. Clemente-Suarez // *European journal of sport science*. – 2023. – № 4. – Vol. 23. – P. 580-587.
 12. Michael, S. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals – a review / S. Michael, K. S. Graham, G. M. Davis // *Frontiers in physiology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 301.
 13. Rogers, B. A new detection method defining the aerobic threshold for endurance exercise and training prescription based on fractal correlation properties of heart rate variability / B. Rogers, D. Giles, N. Draper, O. Hoos, T. Gronwald // *Frontiers in physiology*. – 2021. – Vol. 11. – P. 596567.
 14. Rogers, B. An index of non-linear HRV as a proxy of the aerobic threshold based on blood lactate concentration in elite triathletes / B. Rogers, S. Berk, T. Gronwald // *Sports*. – 2022. – № 2. – Vol. 10. – P. 25.
 15. Schaffarczyk, M. Validation of a non-linear index of heart rate variability to determine aerobic and anaerobic thresholds during incremental cycling exercise in women / M. Schaffarczyk, B. Rogers, R. Reer, T. Gronwald // *European journal of applied physiology*. – 2023. – № 2. – Vol. 123. – P. 299-309.
 16. Sempere-Ruiz, N. Reliability and validity of a non-linear index of heart rate variability to determine intensity thresholds / N. Sempere-Ruiz, J. M. Sarabia, S. Baladzaeva, M. Moya-Ramon // *Frontiers in physiology*. – 2024. – Vol. 15. – P. 1329360.
 17. Sen, J. Fractal analysis of heart rate variability as a predictor of mortality: A systematic review and meta-analysis / J. Sen, D. McGill // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. – 2018. – № 7. – Vol. 28. – P. 72101.
 18. Shaffer, F. An overview of heart rate variability metrics and norms / F. Shaffer, J. P. Ginsberg // *Frontiers in public health*. – 2017. – Vol. 5. – P. 258.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Реуцкая Елена Александровна (Reutskaya Elena Aleksandrovna) – директор Научно-исследовательского института деятельности в экстремальных условиях; Сибирский государственный университет физической культуры и спорта; 644009, г. Омск, ул. Масленникова, д. 144; e-mail: niideu@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6279-932X.

Щапов Евгений Витальевич (Shchapov Evgeny Vitalievich) – младший научный сотрудник Научно-исследовательского института деятельности в экстремальных условиях; Сибирский государственный университет физической культуры и спорта; 644009, г. Омск, ул. Масленникова, д. 144; e-mail: niideu@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4558-9392.

- Поступила в редакцию 01 ноября 2024 г.
- Принята к публикации 27 ноября 2024 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Реуцкая, Е.А. Контроль тренировочной нагрузки на основе метода нелинейного анализа вариабельности ритма сердца у лыжниц в тренировках средней и высокой интенсивности / Е.А. Реуцкая, Е.В. Щапов // Наука и спорт: современные тенденции. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 21-29. DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-4-21-29.

FOR CITATION

Reutskaya E.A., Shchapov E.V. Training load control based on the method of nonlinear analysis of heart rate variability in female skiers during medium and high intensity training. Science and sport: current trends, 2024, vol. 12, no. 4. – pp. 21-29. DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-4-21-29.
