

**СООТНОШЕНИЕ
ФИКСИРОВАННЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ИНДЕКСА DFA-ALPHA1, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПОРОГОВОЙ ЧСС
ПРИ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕТОДАМИ, ОСНОВАННЫМИ
НА ОЦЕНКЕ КИНЕТИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛАКТАТА
И ПОКАЗАТЕЛЯХ ГАЗООБМЕНА**

**П.А. СИДЕЛЕВ, Е.В. ФЕДОТОВА,
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, г. Москва**

Аннотация

Цель исследования: изучить соотношение динамики нелинейного индекса вариабельности ритма сердца DFA-alpha1 и ЧСС при ступенчато возрастающей нагрузке и выявить индивидуальные значения индекса, соответствующие пороговой (АэП и АнаП) ЧСС, определяемой на основе оценки кинетики концентрации лактата и показателей газообмена, у спортсменов высокого класса в видах на выносливость. В исследовании приняли участие 16 спортсменов высокой квалификации (МС и МСМК, возраст 20–31 год, 5 мужчин и 11 женщин), специализирующихся в триатлоне и конькобежном спорте. В ходе теста со ступенчатым повышением нагрузки определялись пороговые значения ЧСС (АэП и АнаП по данным концентрации лактата и газообмена) и ЧСС, соответствующая фиксированным значениям DFA-alpha1 (0,75 и 0,5). Взаимосвязь показателей ЧСС, полученных разными методами, оценивалась с использованием корреляционного анализа, соответствие между ними – методом Блэнда – Альтмана. Установлено, что применение DFA-alpha1 в качестве маркера аэробного и анаэробного порогов у высококвалифицированных спортсменов требует предварительного определения индивидуальных значений индекса, ассоциированных с лактатным или вентиляционным порогом в условиях нагрузочного тестирования. Результаты подчеркивают необходимость персонализированной калибровки DFA-alpha1 для корректной интерпретации пороговых зон ЧСС в практике подготовки спортсменов на выносливость.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, DFA-alpha1, интенсивность физической нагрузки, анаэробный порог, аэробный порог, циклические виды спорта.

**CORRELATION
OF FIXED AND INDIVIDUAL VALUES OF DFA-ALPHA1
CORRESPONDING TO THRESHOLD VALUES OF HR
DURING ITS DETERMINATION BY METHODS BASED
ON ESTIMATION OF LACTATE CONCENTRATION KINETICS
AND GAS EXCHANGE INDICES**

**P.A. SIDELEV, E.V. FEDOTOVA,
VNIIFK, Moscow city**

Abstract

The aim of the research was to investigate the relationship between the dynamics of the nonlinear index of heart rate variability (DFA-alpha1) and HR values during stepwise increasing load, and to identify individual index values corresponding to the lactate and ventilatory thresholds in high-class endurance athletes. The study involved 16 highly qualified athletes (ages 20–31 years, 5 men and 11 women) specializing in triathlon and speed skating. During the test with a stepwise increase in load, the threshold values of HR, based on lactate concentration and gas exchange data, and HR values corresponding to fixed values of DFA-alpha1 (0.75 and 0.5) were determined. The correlation between HR values obtained by different methods was assessed using correlation analysis, and the correspondence between them was evaluated using the Bland-Altman method. It was found that the use of DFA-alpha1 as a marker of aerobic and anaerobic thresholds in highly qualified athletes requires preliminary determination of individual index values associated with lactate or ventilatory thresholds under load testing conditions. The results of the research highlight the need for personalized calibration of DFA-alpha1 for the correct interpretation of threshold values of HR in endurance athletes.

Keywords: heart rate variability, DFA-alpha1, exercise intensity, anaerobic thresholds, aerobic threshold, endurance sports.



Введение

Современная система спортивной подготовки подразумевает, что в поле зрения тренера и спортсмена всегда должны быть данные о реальной интенсивности выполняемых упражнений, так как даже незначительное изменение скорости или мощности нагрузки может резко снизить её эффективность, а также привести к негативным последствиям, связанным с получением травм и состоянием перетренированности [1, 2].

Для повышения эффективности тренировочного процесса квалифицированных спортсменов, в первую очередь в циклических видах спорта, большое значение имеет определение индивидуальных целевых тренировочных зон на основе физиологически обоснованных аэробного и анаэробного порогов, определяемых, как правило, в лабораторных тестах по результатам эргоспирометрии и лактометрии [2].

Сложность проведения эргоспирометрии и инвазивный характер лактометрии в сочетании с невысокой доступностью обоих методов являются серьезным ограничением их использования в практической деятельности большинства тренеров и спортсменов [3, 4]. По этой причине возникла потребность в разработке других – объективных, но доступных и неинвазивных – маркеров для определения аэробного (АэП) и анаэробного (АнП) порогов.

Поиск новых методов определения пороговых значений как по ЧСС, так и по мощности или скорости нагрузки не только в лабораторных условиях, но и непосредственно в тренировочном процессе привел к разработке альтернативных методов определения порогов, в том числе по результатам электромиографии, биомаркерам слюны, *pH* крови, временным показателям вариабельности сердечного ритма (ВСР) и т.п. [5].

В последние годы были проведены исследования с целью оценки физиологических порогов во время выполнения циклической нагрузки с возрастающей интенсивностью при помощи нелинейных методов анализа ВСР, в частности индекса *DFA-alpha1* [4, 6–8].

Индекс *DFA-alpha1*, характеризующий деятельность вегетативной нервной системы, является интегральным показателем общей внутренней нагрузки на организм спортсмена, в отличие от изолированных однофакторных показателей внешней нагрузки, таких как скорость и мощность, или показателей внутренней нагрузки различных подсистем организма, таких как ЧСС, частота дыхания, легочная вентиляция или потребление кислорода [9].

По итогам исследований удалось определить динамику данного индекса *DFA-alpha1* [6, 10]. Выявлено, что при низкоинтенсивной работе (ниже уровня АэП) значения индекса, не имеющего размерности, находятся на уровне 1,0 или незначительно выше, что характеризует фрактальную модель как хорошо коррелированную [6]. При дальнейшем повышении интенсивности значение индекса на уровне АэП снижается до 0,75; на уровне АнП – до 0,5 [11]. Эти значения индекса *DFA-alpha1*, соответствующие вентиляционным порогам, были определены по показателям газообмена у бегунов-любителей при про-

ведении тестов со ступенчато возрастающей нагрузкой на беговой дорожке [7, 12, 13]. Такие же пороговые значения индекса были получены при тестировании на велоэргометре женщин-любителей [8]. Авторы вышеупомянутых исследований выдвинули гипотезу, что фиксированные значения индекса *DFA-alpha1* на уровнях 0,75 и 0,5 универсальны и подходят для идентификации АэП и АнП для спортсменов любого уровня подготовленности, пола и возраста [7, 10, 12, 13].

При этом практически отсутствуют исследования динамики индекса среди действующих спортсменов высокого класса, специализирующихся в циклических видах спорта (ЦВС), хотя основные преимущества нелинейных методов анализа ВСР, такие как доступность, неинвазивность и чувствительность к изменению интенсивности тренировочных нагрузок, позволили бы широко использовать данные методы в практике тренировочной деятельности квалифицированных спортсменов в ЦВС.

Таким образом, подтверждение гипотезы об универсальности пороговых значений по индексу *DFA-alpha1* на уровнях 0,75 и 0,5 для квалифицированных спортсменов открывает широкие возможности применения данных ВСР как для определения АэП и АнП, так и для мониторинга интенсивности внутренней нагрузки в режиме реального времени.

Цель исследования: изучение соотношения динамики нелинейного индекса вариабельности ритма сердца *DFA-alpha1* и ЧСС при ступенчато возрастающей нагрузке и выявление индивидуальных значений индекса, соответствующих пороговой (АэП и АнП) ЧСС, определяемой на основе оценки кинетики концентрации лактата и показателей газообмена, у спортсменов высокого класса в видах на выносливость.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 16 спортсменов (5 мужчин и 11 женщин) в возрасте от 20 до 31 года. Квалификация – МС и МСМК, спортивная специализация – конькобежный спорт и триатлон. Все участники исследования дали письменное информированное согласие на прохождение тестирования. Спортсменам было рекомендовано воздержаться от тяжелых физических нагрузок за 24 часа до прохождения теста.

Испытуемые выполняли тест со ступенчатым повышением нагрузки на велоэргометре CYCLUS-2 (RBM Elektronik-automation GmbH, Германия) до мощности нагрузки, равной уровню «АнП плюс одна ступень». Начальная мощность – 90 Вт (жен.) и 120 Вт (муж.); шаг ступени – 30 Вт; продолжительность ступени – 3 мин.

Достижение уровня АнП в режиме реального времени оценивалось по показателям эргоспирометрии. Параметры легочной вентиляции и газообмена определялись с помощью газоанализатора MetaMax 3B-R2 (Cortex, Германия). Для определения значений ЧСС, соответствующих аэробному и анаэробному вентиляционным порогам, был проведен графический анализ соотношений показателей легочной вентиляции и газообмена по результатам эргоспирометрии, включающий метод *V-slope*, метод Конкони и метод вентиляционных эквивалентов.



Концентрацию лактата в крови определяли с помощью анализатора глюкозы и лактата Super GL Easy (Dr. Mueller, Германия). Забор капиллярной крови из пальца производился в последние 30 секунд каждой ступени. Пороговые значения ЧСС для АэП и АНП по концентрации лактата в крови были определены по OBLA на уровне 2 и 4 ммоль/л соответственно.

В процессе тестирования непрерывно регистрировались показатели ЧСС и кардиоинтервалы с помощью монитора сердечного ритма Polar V800 и датчика для мониторинга сердечного ритма Polar H10 с частотой дискретизации 1000 Гц (Polar Electro Oy, Kempele, Финляндия).

Динамика значений индекса *DEFA-alpha1* была рассчитана с помощью программного обеспечения Kubios HRV Scientific (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Kuopio, Финляндия).

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были определены пороговые показатели ЧСС (АэП и АНП), соответствующие лактатным порогам (*LT1* и *LT2*), вентиляционным порогам (*VT1* и *VT2*) и уровню фиксированных значений индекса *DEFA-alpha1* 0,75 и 0,5 (табл. 1).

Среднее значение ЧСС по индексу *DEFA-alpha1* на уровне 0,75 составило $155 \pm 13,3$ уд./мин и оказалось ниже значений АэП, полученных методами лактометрии ($163 \pm 5,4$ уд./мин) и эргоспирометрии ($165 \pm 5,6$ уд./мин).

Взаимосвязь и соответствие между пороговыми значениями ЧСС, определенными методами лактометрии и эргоспирометрии, и значениями ЧСС на уровне фиксированных значений индекса *DEFA-alpha1* 0,75 и 0,5 были оценены с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (*r*), коэффициента детерминации (R^2), линейной регрессии и графиков Блэнда – Альтмана. Для проверки различий значений ЧСС, полученных различными методами, использовался *T*-критерий Вилкоксона.

Проверка на нормальность распределения данных была проведена с помощью теста Шапиро – Уилкса. Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и Statistica, версия 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Достоверность различий принималась при уровне значимости $p < 0,05$.

Такая же тенденция характерна и для среднего значения ЧСС по индексу *DEFA-alpha1* на уровне 0,5, которое составило $169 \pm 13,5$ уд./мин и было ниже, чем для *LT2* ($176 \pm 5,9$ уд./мин) и *VT2* ($178 \pm 6,7$ уд./мин). Выявлены статистически значимые различия между ЧСС на лактатных порогах и ЧСС, определенных по индексу *DEFA-alpha1* на уровнях 0,75 и 0,5, а также между ЧСС на вентиляционных порогах и ЧСС, установленных по индексу *DEFA-alpha1* (табл. 2).

Таблица 1

Индивидуальные значения ЧСС на уровне лактатных и вентиляционных порогов при индексе *DEFA-alpha1*

Спортсмен	Значения ЧСС (уд./мин)					
	Лактатный порог		Вентиляционный порог		<i>DEFA-alpha1</i> (0,75)	<i>DEFA-alpha1</i> (0,5)
	<i>LT1</i>	<i>LT2</i>	<i>VT1</i>	<i>VT2</i>		
1	165	176	164	174	159	175
2	156	171	158	168	151	164
3	156	167	159	169	126	133
4	164	176	155	180	155	176
5	167	176	163	174	147	167
6	164	179	170	183	171	178
7	166	176	169	180	147	167
8	168	182	170	185	172	181
9	164	185	172	187	171	180
10	153	167	156	168	146	158
11	171	183	169	184	165	176
12	163	172	164	176	152	173
13	166	181	169	187	167	177
14	167	185	171	185	165	179
15	154	170	164	173	135	144
16	166	177	168	179	157	173
Среднее	163	176	165	178	155	169
Станд. откл.	5,4	5,9	5,6	6,7	13,3	13,5
Максимум	171	185	172	187	172	181
Минимум	153	167	155	168	126	133



Таблица 2

Оценка достоверности различий
между показателями ЧСС на лактатных
и вентиляционных порогах при фиксированных
значениях индекса *DFA-alpha1*
(по *T*-критерию Вилкоксона)

Переменный индекс	<i>T</i> -критерий	<i>Z</i> -критерий	<i>P</i>
<i>VT1 – DFA-alpha1</i> (0,75)	5,0	3,12	0,002
<i>VT2 – DFA-alpha1</i> (0,5)	1,0	3,46	0,001
<i>LT1 – DFA-alpha1</i> (0,75)	20,0	2,48	0,013
<i>LT2 – DFA-alpha1</i> (0,5)	2,5	3,27	0,001

По результатам корреляционного анализа была выявлена сильная взаимосвязь между пороговыми показателями ЧСС для *VT1* и *DFA-alpha1* (0,75); *VT2* и *DFA-alpha1* (0,5); *LT2* и *DFA-alpha1* (0,5). Средняя связь между АэП и АНП обнаружена для *LT1* и *DFA-alpha1* (0,75) (рис. 1). Более сильная взаимосвязь была выявлена для пороговых значений на уровне АНП и ЧСС по *DFA-alpha1* (0,5), чем для АэП и *DFA-alpha1* (0,75).

Анализ соответствия Блэнда – Алтмана показал среднюю разность между ЧСС на уровне *LT1* и *DFA-alpha1* (0,75) на $7,8 \pm 10,4$ уд./мин; между *VT1* и *DFA-alpha1* (0,75) – на $9,7 \pm 10,5$ уд./мин. Аналогичная разность наблюдалась на уровне АНП между ЧСС на *LT1* и *DFA-*

Рис. 1а.
Соотношение
показателей ЧСС на *LT1*
и *DFA-alpha1* = 0,75

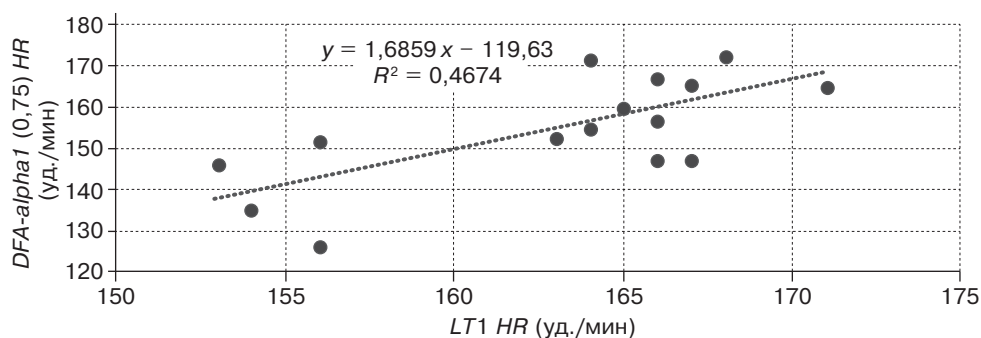


Рис. 1б.
Соотношение
показателей ЧСС на *LT2*
и *DFA-alpha1* = 0,5

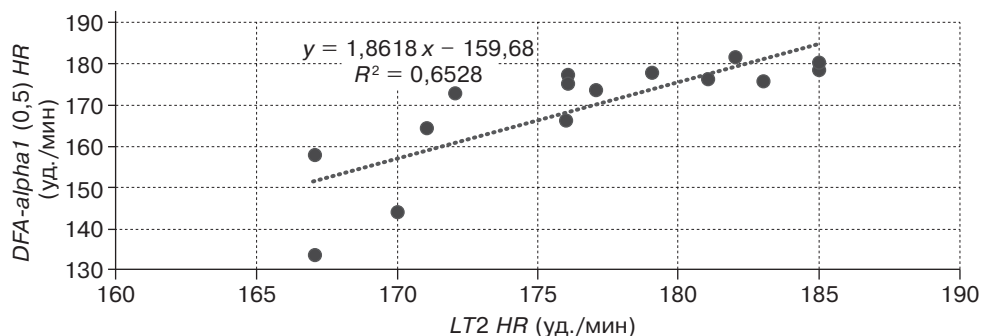


Рис. 1в.
Соотношение
показателей ЧСС на *VT1*
и *DFA-alpha1* = 0,75

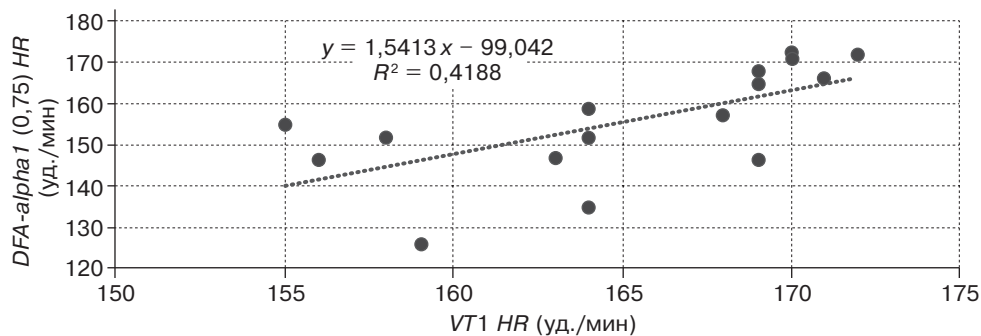
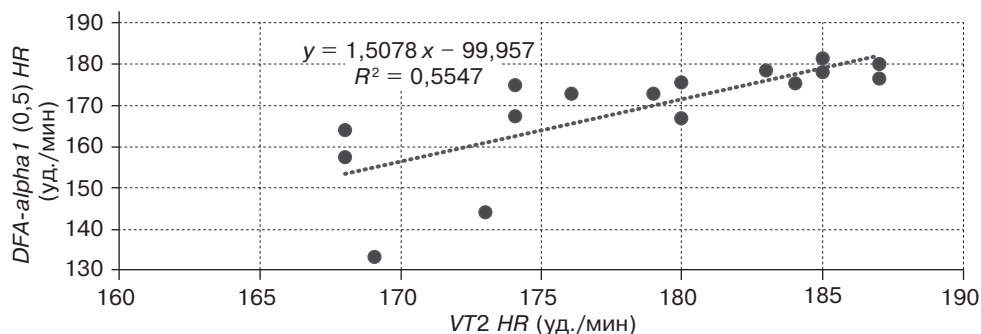


Рис. 1г.
Соотношение
показателей ЧСС на *VT2*
и *DFA-alpha1* = 0,5



$\alpha 1$ (0,75) – на $7,6 \pm 9,5$ уд./мин, а между ЧСС на VT1 и $DFA-\alpha 1$ (0,5) – на $9,4 \pm 9,7$ уд./мин (рис. 2 – графики Блэнда – Альтмана). Практически все индивидуальные показатели разности пороговых значений ЧСС со значениями ЧСС по $DFA-\alpha 1$ на уровнях 0,75 и 0,5 находятся в границах нижнего и верхнего пределов согласия. Стоит отметить, что рассчитанные значения средней разности между пороговыми значениями ЧСС и ЧСС по $DFA-\alpha 1$ для спортсменов, у которых пороговые ЧСС близки к средним значениям пульса среди испытуемых.

Таким образом, результаты анализа позволяют говорить о возможности использования индекса $DFA-\alpha 1$

для определения АэП и АнП. При этом наблюдаемые индивидуальные различия между пороговыми значениями ЧСС и ЧСС $DFA-\alpha 1$ на уровнях 0,75 и 0,5 указывают на необходимость «персонализированной калибровки» $DFA-\alpha 1$ по значениям ЧСС, соответствующим вентиляционным или лактатным порогам для спортсменов высокого класса в циклических видах спорта.

В нашем исследовании среднее значение $DFA-\alpha 1$ на уровне LT1 составило: $0,67 \pm 0,17$, на уровне LT2: $0,41 \pm 0,08$. На вентиляционных порогах среднее значение $DFA-\alpha 1$ на уровне VT1 составило: $0,62 \pm 0,14$, а на уровне VT2: $0,37 \pm 0,17$.

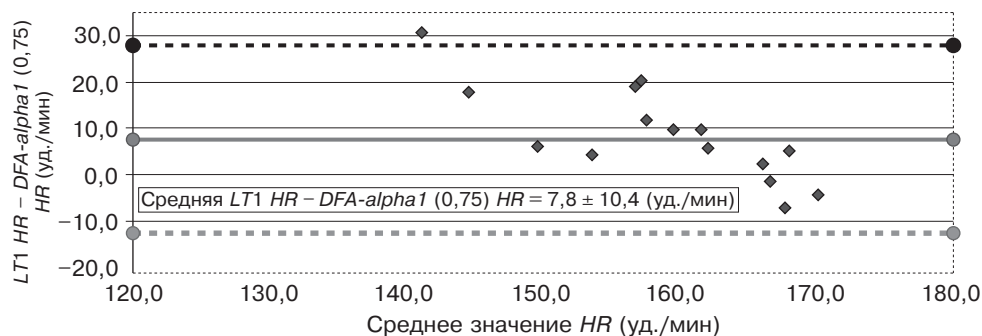


Рис. 2а.

Анализ соответствия значений ЧСС на LT1 и $DFA-\alpha 1 = 0,75$

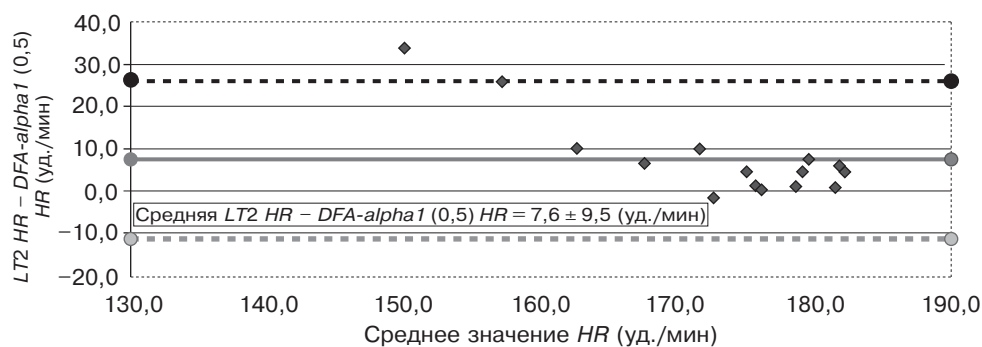


Рис. 2б.

Анализ соответствия значений ЧСС на LT2 и $DFA-\alpha 1 = 0,5$

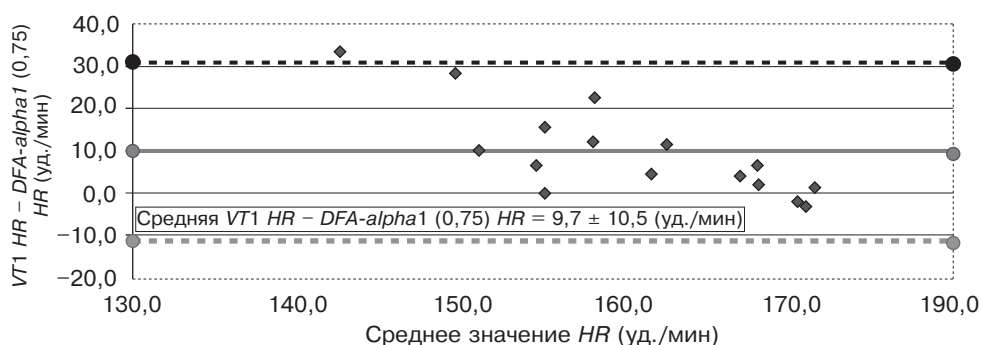


Рис. 2в.

Анализ соответствия значений ЧСС на VT1 и $DFA-\alpha 1 = 0,75$

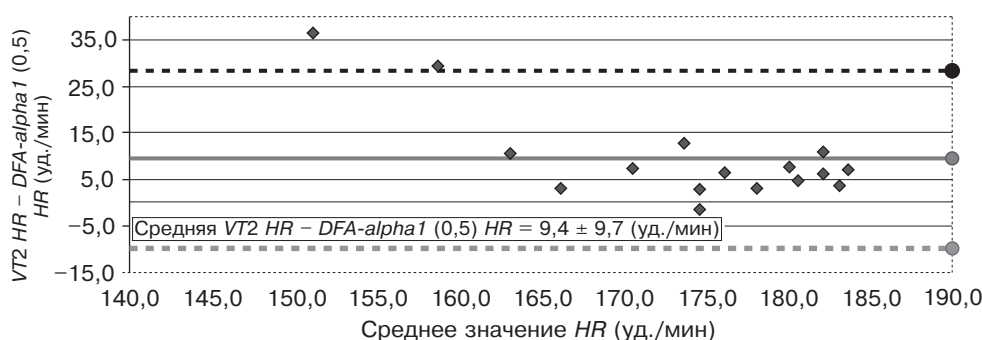


Рис. 2г.

Анализ соответствия значений ЧСС на VT2 и $DFA-\alpha 1 = 0,5$



Вентиляционные и лактатные пороги у спортсменов высокой квалификации в ЦВС ассоциируются с более низкими значениями индекса *DFA-alpha1*, чем у исследуемых ранее спортсменов-любителей и квалифицированных спортсменов, представляющих нециклические виды спорта, в частности ски-кросс [4, 7, 12, 13]. Это может быть связано с более высокой степенью нагрузки на регуляторные системы организма, в первую очередь на вегетативную нервную систему у спортсменов, специализирующихся в ЦВС, при интенсивности нагрузки на уровне пороговых показателей. Это согласуется с данными о более высоких значениях потребления кисло-

рода и ЧСС на уровне АэП и АнП относительно МПК и максимальной ЧСС у спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость, по сравнению со спортсменами из других видов спорта и спортсменами-любителями.

Таким образом, для корректного использования методов нелинейного анализа ВСП с целью идентификации АэП и АнП у квалифицированных спортсменов в циклических видах спорта необходимо определить индивидуальные значения индекса *DFA-alpha1* по пороговым показателям, полученным методами лактометрии и (или) эргоспирометрии.

Заключение

По результатам исследования проведена верификация метода нелинейного анализа ВСП — индекса *DFA-alpha1* как неинвазивного, простого в использовании и финансово доступного метода определения АэП и АнП у квалифицированных спортсменов, специализирующихся в ЦВС с преимущественным проявлением выносливости. Выявлены статистически значимые различия для квалифицированных спортсменов в ЦВС между значениями ЧСС, определенными по индексу *DFA-alpha1* на уровнях 0,75 и 0,5, и пороговыми показателями ЧСС, зафиксированными по данным концентрации лактата и газообмена.

Установлено, что применение *DFA-alpha1* в качестве маркера аэробного и анаэробного порогов у высококвали-

фицированных спортсменов требует предварительного определения индивидуальных значений индекса, ассоциированных с лактатным или вентиляционным порогом в условиях нагрузочного тестирования.

Результаты исследования показывают, что необходима персонализированная калибровка *DFA-alpha1* для корректной интерпретации пороговых зон ЧСС в практике подготовки спортсменов в циклических видах спорта. Оценка перспективы использования индекса *DFA-alpha1* для определения АэП и АнП применительно к квалифицированным спортсменам других специальностей требует проведения дополнительных исследований.

Литература

1. Современная система спортивной подготовки / ред. Ф.П. Суслов, В.Л. Сыч, Б.Н. Шустин. — М.: СААМ, 1995. — 448 с.
2. Федотова Е.В., Сиделев П.А. Оптимальные модели распределения нагрузки и использование целевых тренировочных зон в циклических видах спорта на выносливость (анализ зарубежных исследований) // Вестник спортивной науки. — 2021. — № 6. — С. 17–22.
3. Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: methodological problems / K. Meyer, R. Hajric, S. Westbrook et al. // European Journal of Applied Physiology. — 1996. — Vol. 72. — Pp. 387–393.
4. Федотова Е.В., Сиделев П.А. Идентификация пороговых значений ЧСС ски-кроссеров высокого класса с использованием методов нелинейного анализа вариабельности сердечного ритма // Экстремальная деятельность человека. — 2023 а. — № 2 (66). — С. 48–52.
5. Федотова Е.В. Современные подходы к разработке и использованию методов идентификации порогов вариабельности сердечного ритма при тестировании и в тренировке спортсменов в циклических видах спорта (теоретический анализ научных работ) // Вестник спортивной науки. — 2022. — № 3. — С. 41–46.
6. Gronwald T., Rogers B., Hoos O. Fractal correlation properties of heart rate variability: a new biomarker for intensity distribution in endurance exercise and training prescription? // Front. Physiol. — 2020. — Vol. 11. — URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.550572> (дата обращения: 21.01.2025).
7. 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 et al // Front. Physiol. — 2021 а. — Vol. 11. — URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.596567> (дата обращения: 21.01.2025).
8. Validation of a non-linear index of heart rate variability to determine aerobic and anaerobic thresholds during incremental cycling exercise in women / M. Schafarczyk, B. Rogers, R. Reer, T. Gronwald // European Journal of Applied Physiology. — 2023. — Vol. 123 (2). — Pp. 299–309.
9. Fractal correlation properties of heart rate variability as a biomarker of endurance exercise fatigue in ultramarathon runners / B. Rogers, L. Mourrot, G. Doucende, T. Gronwald // Physiological Reports. — 2021 b. — Vol. 9 (14). — Pp. 1–9.
10. Gronwald T., Hoos O. Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review // Annals of Noninvasive Electrocardiology. — 2019. — Vol. 25. — Pp. 1–11.



11. Федотова Е.В. Перспективы использования показателей нелинейного анализа variability ритма сердца в качестве маркеров функционального состояния организма спортсмена при выполнении тренировочных и тестирующих нагрузок // Теория и практика физической культуры. – 2023 б. – № 10. – С. 45–47.

12. Naranjo-Orellana J., Nieto-Jiménez C., Ruso-Álvarez J.F. Non-linear heart rate dynamics during and after

three controlled exercise intensities in healthy men // Physiology International. – 2021. – Vol. 107 (4). – Pp. 501–512.

13. Detection of the anaerobic threshold in endurance sports: validation of a new method using correlation properties of heart rate variability // B. Rogers, D. Giles, N. Draper et al. // J. Funct. Morphol. Kinesiol. – 2021 c. – Vol. 6 (2). – P. 38. – URL: <https://doi.org/10.3390/jfmk6020038> (дата обращения: 21.01.2025).

References

1. The modern system of sports training / F.P. Suslov, V.L. Sych, B.N. Shustin. – Moscow: SAAM, 1995. – 448 p.

2. Fedotova E.V., Sidelev P.A. Efficiency of training load distribution models and use of target training zones in endurance sports (analysis of foreign research) // Sports Science Bulletin. – 2021. – No. 6. – Pp. 17–22.

3. Meyer K., Hajric R., Westbrook S. et al. Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: methodological problems // European Journal of Applied Physiology. – 1996. – Vol. 72. – Pp. 387–393.

4. Fedotova, E.V., Sidelev P.A. Identification of HRV-tresholds of highly qualified ski crossers using methods of nonlinear analysis of heart rate variability // Extreme Human Activity. – 2023 a. – No. 2 (66). – Pp. 48–52.

5. Fedotova E.V. Modern approaches to the development and use of heart rate variability threshold identification methods in tests and training of athletes in endurance sports (theoretical analysis of scientific papers) // Sports Science Bulletin. – 2022. – No. 3. – Pp. 41–46.

6. Gronwald T., Rogers B., Hoos O. Fractal correlation properties of heart rate variability: a new biomarker for intensity distribution in endurance exercise and training prescription? // Front. Physiol. – 2020. – Vol. 11. – URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.550572> (date of access: 21.01.2025).

7. Rogers B., Giles D., Draper N. et al. A new detection method defining the aerobic threshold for endurance exercise and training prescription based on fractal correlation properties of heart rate variability // Front. Physiol. – 2021 a. – Vol. 11. – URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.596567> (date of access: 21.01.2025).

8. Schaffarczyk M., Rogers B., Reer R., Gronwald T. Validation of a non-linear index of heart rate variability to determine aerobic and anaerobic thresholds during incremental cycling exercise in women // European Journal of Applied Physiology. – 2023. – Vol. 123 (2). – Pp. 299–309.

9. Rogers B., Mourot L., Doucende G., Gronwald T. Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability as a Biomarker of Endurance Exercise Fatigue in Ultramarathon Runners // Physiological Reports. – 2021 b. – Vol. 9 (14). – Pp. 1–9.

10. Gronwald T., Hoos O. Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review // Annals of Noninvasive Electrocadiology. – 2019. – Vol. 25. – Pp. 1–11.

11. Fedotova E.V. Prospects for using indicators of non-linear analysis of heart rate variability as markers of the functional state of the athlete's body when performing training and testing loads // Theory and practice of physical culture. – 2023 b. – No. 10. – Pp. 45–47.

12. Naranjo-Orellana J., Nieto-Jiménez C., Ruso-Álvarez, J.F. Non-linear Heart Rate Dynamics during and after Three Controlled Exercise Intensities in Healthy Men // Physiology International. – 2021. – Vol. 107 (4). – Pp. 501–512. – DOI:10.1556/2060.2020.00039

13. Rogers B., Giles D., Draper N. et al. Detection of the anaerobic threshold in endurance sports: validation of a new method using correlation properties of heart rate variability // J. Funct. Morphol. Kinesiol. – 2021 c. – Vol. 6 (2). – P. 38. – URL: <https://doi.org/10.3390/jfmk6020038> (date of access: 21.01.2025).

