



## Сравнение кардиореспираторных показателей при тредмил-тестировании «до отказа» у спортсменов в зависимости от профессиональной деятельности

*В.И. Пустовойт, Е.И. Балакин, А.В. Хан, А.А. Муртазин, Н.Ф. Максютков\*,  
П.С. Меркулова, К.А. Кубышев*

*ФГБУ «Государственный научный Центр Российской Федерации –  
Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна  
Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия*

### РЕЗЮМЕ

Нагрузочное тестирование с применением методики спироэргометрии является надежным диагностическим инструментом, который предоставляет объективную информацию о состоянии кардиореспираторной системы при выполнении физической нагрузки. В статье описан комплексный анализ как новых, так и общепринятых хорошо зарекомендовавших себя кардиореспираторных показателей, полученных в процессе тредмил-тестирования «до отказа». Показан характер влияния физических нагрузок на показатели функциональной активности кардиореспираторной системы. Предложена их интерпретация для планирования и последующего наблюдения за тренировочным процессом у спортсменов различной профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** спортсмены, нагрузочное тестирование «до отказа», пик спортивной готовности, спироэргометрическое обследование, показатели работы кардиореспираторной системы

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Пустовойт В.И., Балакин Е.И., Хан А.В., Муртазин А.А., Максютков Н.Ф., Меркулова П.С., Кубышев К.А. Сравнение кардиореспираторных показателей при тредмил-тестировании «до отказа» у спортсменов в зависимости от профессиональной деятельности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(3):51–59. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.5>

Поступила в редакцию: 30.06.2022

Принята к публикации: 25.10.2022

Online first: 30.11.2022

Опубликована: 30.12.2022

\* Автор, ответственный за переписку

## The combination of traditional cardiorespiratory markers during treadmill testing “to failure” in athletes, depending on professional activity

*Vasylyi I. Pustovoyt, Evgenii I. Balakin, Aleksei V. Khan, Arthur A. Murtazin, Neil F. Maksjutov\*,  
Polina S. Merkulova, Konstantin A. Kubyshev*

*State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia*

### ABSTRACT

Exercise tolerance test with the use of the spiroergometry technique is a reliable diagnostic method which provides objective information about cardiorespiratory system condition when performing physical activity. Both new and traditional, well-proven cardiorespiratory markers obtained in the process of treadmill testing “to failure”, are described in this article. The nature of the influence of physical exertion on the indicators of cardiorespiratory system functional activity is presented. The interpretation for planning and subsequent monitoring of the training process in athletes of various professional activities is proposed.

**Keywords:** athletes, exercise tolerance test/treadmill testing “to failure”, peak of form, spiroergometry screening, cardiorespiratory markers

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Pustovoyt V.I., Balakin E.I., Khan A.V., Murtazin A.A., Maksjutov N.F., Merkulova P.S., Kubyshev K.A. The combination of traditional cardiorespiratory markers during treadmill testing "to failure" in athletes, depending on professional activity. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(3):51–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.5>

**Received:** 30 June 2022

**Accepted:** 25 October 2022

**Online first:** 30 November 2022

**Published:** 30 December 2022

\*Corresponding author

## 1. Введение

Ведущим практическим вопросом подготовки спортсменов является определение оптимального уровня профессиональной спортивной готовности к достижению поставленной цели. Определение спортивной готовности складывается из диагностических компонентов, в состав которых входит спироэргометрическое (СЭМ) обследование, дающее возможность объективной оценки физической подготовленности.

Своевременно выявленное у отдельно взятого спортсмена снижение уровня физической работоспособности и функциональных резервов организма позволит скорректировать тренировочный процесс для достижения необходимого уровня профессионального спортивного мастерства, что значительно повысит вероятность успешного достижения поставленной цели за счет оптимальной адаптации организма к тяжелым физическим нагрузкам. Исследование функциональных резервов и физической работоспособности спортсменов с одновременной регистрацией СЭМ-показателей расширяет представления о физиологических особенностях регуляции кардиореспираторной системы на фоне интенсивных и длительных тренировок и дает возможность подготовки к конкретным физиологическим нагрузкам для достижения поставленной цели, что является основополагающим принципом спортивной подготовки. Данное исследование было направлено на выявление межгрупповых отличий показателей однократного СЭМ-обследования на пике спортивной готовности в ответ на нагрузочное тестирование на тредмиле «до отказа». В частности, мы стремились охарактеризовать влияние физических нагрузок на показатели функциональной активности кардиореспираторной системы.

**Цель исследования:** сравнить показатели СЭМ-обследования в оптимальном функциональном состоянии организма спортсменов с различным профилем профессиональной деятельности.

## 2. Материалы и методы

Исследования, описанные в этой статье, одобрены этическим комитетом ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и проводилось на этой же базе в течение четырех недель в 2021 году.

В сравнении СЭМ-показателей принимали участие 98 спортсменов (с уровнем спортивного мастерства не ниже первого разряда) мужского пола, у которых при углубленном медицинском обследовании

установлен оптимальный уровень функционального состояния организма [1–5].

Первая группа (альпинисты, принимающие участие в высотных восхождениях), состояла из 30 человек, средний возраст  $30,8 \pm 4,5$  года. Вторая группа (альпинисты, принимающие участие в скайраннинге), состояла из 22 человек, средний возраст  $29,6 \pm 3,5$  года. Третья группа (спортсмены циклических видов спорта) состояла из 25 человек, средний возраст  $30 \pm 6,2$  года. Четвертая группа, состоящая из 21 здорового мужчины, занимающегося туризмом, средний возраст  $29,8 \pm 5,2$  года. Четвертая группа — группа контроля, так как в ней тренировки проводили не менее двух раз в неделю на любительском уровне. Включением в исследование было условие о предоставлении письменного информированного согласия и наличие опыта участия в нагрузочном тестировании «до отказа». Все участники настоящего исследования участвовали добровольно и были ознакомлены с ходом и целью исследования.

Критериями включения субъектов в исследование являлись: возраст от 18 до 40 лет, мужской пол, верифицированный диагноз «здоров» по данным стандартных клинических, лабораторных и инструментальных методов обследования, наличие регулярной физической активности в повседневной жизни.

Критериями исключения являлись возраст младше 18 лет и старше 40 лет, наличие сердечно-легочных, неврологических, метаболических или психиатрических заболеваний в анамнезе, острые инфекции.

Ознакомительное тестирование в четырех группах было проведено в отдельные дни. Основное нагрузочное тестирование «до отказа» проводилось при температуре  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 60 %. Во время тестирования испытуемые были одеты в спортивные шорты, носки и спортивную обувь. Тестирование продолжалось до волевого истощения, определяемого как точка, в которой участники не могли поддерживать скорость дорожки и продолжать выполнение нагрузки.

Нагрузочное тестирование проводилось на беговой дорожке «T-ergo PRO» (Италия) в климатической комнате. На всем протяжении обследования спортсменов непрерывно регистрировались параметры ЭКГ с помощью проводного регистратора электрической активности сердца Cosmed «Quark C 12\*» [6]. Показатели легочной вентиляции и метаболического ответа непрерывно измерялись с помощью систем анализа газового состава

вдыхаемого и выдыхаемого воздуха Cosmed «Quark CPET» (Италия) [6].

Физическая нагрузка на беговой дорожке «T-ergo PRO» выполнялась в соответствии с протоколом и продолжалась до момента «отказ» (таблица 1). После чего в программе газоанализа активировалась фаза восстановления, сопровождающаяся замедлением скорости движущегося полотна до полной остановки через 3 минуты.

Для определения физической работоспособности и функциональных резервов организма спортсменов учитывали следующие показатели: общее время работы ( $t_{MAX}$ , мин); время наступления аэробного порога ( $t_{АП}$ , мин.); время наступления анаэробного порога ( $t_{ПАНО}$ , мин.); ЧСС до начала теста (уд/мин); ЧСС на уровне аэробного порога (ЧСС<sub>АП</sub>, уд/мин); ЧСС на уровне анаэробного порога (ЧСС<sub>ПАНО</sub>, уд/мин); ЧСС максимальное (ЧСС<sub>МАХ</sub>, уд/мин); ЧСС восстановления через 5 минут (ЧСС<sub>восст.</sub>, уд/мин); потребление кислорода ( $VO_2$  (АП, ПАНО, МАХ), мл/мин/кг); выведение углекислого газа ( $VCO_2$  (АП, ПАНО, МАХ), мл/мин/кг); дыхательный коэффициент (RER, отн. ед.); метаболические единицы (METs (АП, ПАНО, МАХ), отн. ед.); частота дыхательных движений ( $RF$  (АП, ПАНО, МАХ), дв/мин); минутный объем дыхания ( $VE$  (АП, ПАНО, МАХ), л/мин); дыхательный объем ( $VT$  (АП, ПАНО, МАХ), литры); кислородный пульс (КП, мл/уд/мин); дыхательный эквивалент для  $O_2$  ( $VE/O_2$  (АП, ПАНО, МАХ), отн. ед.); дыхательный эквивалент для  $CO_2$  ( $VE/CO_2$  (АП, ПАНО, МАХ), отн. ед.); соотношение ЧСС/ $Rf$  (АП, ПАНО и МАХ) уд/дв/мин.

Полученные данные обрабатывали с использованием специального программного прикладного пакета Statistica v 13.1 (StatSoft, Inc., 2016) наряду с табличным редактором Excel for Windows 2016.

Для описания данных использовались значения медианы и межквартильного размаха (значения первого и третьего квартиля), а также среднее значение и стандартное отклонение. Сравнение между несколькими

группами проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA — Analysis of variance), а попарное сравнение с помощью непараметрического  $U$ -критерия Мана — Уитни. Корреляционный анализ проводился с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена. При обработке данных статистическая значимость была установлена на уровне  $p < 0,05$ .

### 3. Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время существует ограниченная информация о влиянии физических нагрузок на кардиореспираторную адаптацию альпинистов различных профилей спортивной деятельности. Аэробные резервы спортсменов альпинистов в основном зависят от интенсивности и длительности физических нагрузок в гипоксических условиях окружающей среды. Уровень спортивного мастерства во многом обусловлен наличием профессионального опыта и повышением специальной физической выносливости. С учетом этих особенностей на первое место при сопровождении спортсменов выходит система персонализированного контроля функционального состояния и функциональных резервов организма. Исходя из этих данных, отличительной выносливостью, необходимой для достижения поставленных целей с высокой профессиональной эффективностью, наилучшим результатом и минимальной биологической ценой за адаптацию организма, характеризуются вторая и третья группы обследуемых спортсменов (табл. 2 и 3).

Антропометрические характеристики спортсменов существенно не различались между обследуемыми группами. Результаты нагрузочного тестирования на тредмиле «до отказа» представлены в таблице 2.

Средние значения показателя времени выполнения нагрузки «до отказа» в группах находятся в диапазоне от  $12,56 \pm 2,1$  (четвертая группа) до  $16,03 \pm 1,7$  (вторая группа) минуты. Полученные результаты, характеризующие переход спортсменов от АП до ПАНО

Таблица 1

#### Протокол нагрузки Тредмил-тест

Table 1

#### The treadmill stress test protocol

Степень	Скорость, км/ч	Время, мин.	Степень	Скорость, км/ч	Время, мин.
1	5	0,00–1,40	10	14	14,00–15,40
2	6	1,40–3,20	11	15	15,40–17,20
3	7	3,20–5,00	12	16	17,20–19,00
4	8	5,00–6,40	13	17	19,00–20,40
5	8	6,40–8,20	14	18	20,40–22,00
6	10	8,20–9,00	15	19	22,00–23,40
7	11	9,00–10,40	16	20	23,40–25,00
8	12	10,40–12,20	Восстановление	4	2
9	13	12,20–14,00		2,7	3

Таблица 2

Показатели физической работоспособности спортсменов при тестировании на беговой дорожке ( $n = 98$ )

Table 2

The physical performance parameters of athletes during a treadmill exercise test ( $n = 98$ )

Параметр	Первая ( $n = 30$ )	Вторая ( $n = 22$ )	Третья ( $n = 25$ )	Четвертая ( $n = 21$ )
Возраст	30,8 [28,3–33,3]	29,6 [27,3–32]	30 [27,4–32,6]	29,8 [28,7–31,7]
Рост	179,3 [175,5–183]	178 [175–181]	179,2 [177–182]	178 [176,5–182]
Вес	81,1 [75,2–86,6]	73,8 [69,6–78,1]	79,1 [76–82,2]	79,5 [75,2–83,1]
t ап	8:38 [6:18–12:49]	11:22 [9:50–16:36]	9:39 [7:23–13:56]	3:58 [2:38–8:43]
t пано	12:12 [10:53–15:28]	14:53 [11:25–17:58]	13:04 [9:16–16:47]	8:57 [4:01–11:41]
t НАГРУЗКИ	14:46 [12:43–16:06]	16:03 [13:29–18:55]	15:52 [12:06–17:14]	12:56 [10:48–14:58]
ЧСС (до теста)	94 [86–101]	97 [89–106]	88 [81–94]	90 [84,1–95,7]
ЧСС ап	129,2 [119–138]	168 [165–171]	144 [137–151]	123 [117–129]
ЧСС пано	179 [174–184]	185 [182–188]	174 [170–179]	156 [152–161]
ЧСС max	190 [185–195]	190 [186–194]	185 [181–188]	176 [172–180]
ЧСС ВОССТ	119 [113–124]	133 [124–142]	118 [113–123]	114 [108–120]
VO <sub>2</sub> ап	29,5 [26,6–32,5]	50 [44–56]	40,7 [37,2–44,2]	24,4 [23–26]
VO <sub>2</sub> пано	48,1 [45,2–50,9]	61,4 [56,6–66,1]	57,4 [55,1–59,8]	38,7 [36,7–40,7]
VO <sub>2</sub> max	51 [47,5–54,4]	65,4 [61–70]	61,9 [59,8–64]	45,2 [43,4–46,9]
VCO <sub>2</sub> ап	25,9 [23–28,8]	43,9 [37,5–50,2]	34 [30,1–37,8]	17,8 [14,4–21,2]
VCO <sub>2</sub> пано	48,6 [45,5–51,8]	64,2 [58,4–70,1]	58,2 [55,4–61,1]	38,9 [36,1–41,6]
VCO <sub>2</sub> max	50 [46,7–53,4]	60,7 [54,8–66,6]	64,1 [61,6–66,6]	53,6 [50,1–57,2]
RER	1,11 [1,09–1,14]	1,09 [1,06–1,12]	1,14 [1,12–1,16]	1,31 [1,29–1,34]
Rf ап	29,8 [26,4–33,2]	41,2 [32,8–49,6]	30 [27,6–32,4]	25,5 [23,5–27,6]
Rf пано	48,2 [42,6–53,7]	45,4 [41,1–49,7]	42,4 [39,2–45,7]	36,5 [34–39]
Rf max	54,9 [48,4–61,4]	53,4 [46,7–60,1]	50,3 [49,5–55]	50,2 [46,8–53,7]
VT ап	2,04 [1,8–2,27]	2,63 [2,16–3,1]	2,5 [2,3–2,9]	2,2 [2–2,4]
VT пано	2,7 [2,4–3]	3,1 [2,7–3,4]	3,3 [3–3,5]	2,9 [2,7–3,2]
VT max	2,73 [2,5–3]	3,2 [2,9–3,5]	3,4 [3,2–3,6]	3,4 [3,1–3,6]
VE ап	60,3 [51,5–69,1]	91 [72,5–109,5]	75,8 [67,7–84]	54,9 [50,4–59,4]
VE пано	125,6 [117,4–133,8]	138,9 [125,6–152,2]	137 [127–147]	106 [99–113]
VE max	145,5 [135,9–155]	166 [150–182]	166 [158–174]	163,8 [156–171]

Примечание: [Q1–Q3] — непараметрическая описательная статистика (ненормальное распределение), M — медиана, Q1 — нижний квартиль (25 %), Q3 — верхний квартиль (75 %).

Note: [Q1–Q3] — nonparametric descriptive statistics (non-normal distribution), M — the median, Q1 — the lower quartile (25%), Q3 — the upper quartile (75 %).

с последующим отказом от нагрузочного тестирования, подтверждают выполнение нагрузки обследуемыми лицами на максимально возможном функциональном уровне. Анализ полученных данных показал тенденцию наибольшего сдвига вправо СЭМ показателей во второй и третьей группах обследуемых спортсменов. Значения в данных группах статистически значимо ( $p < 0,05$ ) отличаются по сравнению с первой и четвертой группами обследуемых лиц. Это связано с тем, что спортсменам второй и третьей группы для участия в соревнованиях и достижения поставленной цели необходима достаточная кардиореспираторная подготовка, характеризующаяся наибольшими показателями аэробного обмена. Так, значимые межгрупповые различия регистрируются в пяти наиболее важных

показателях: VO<sub>2</sub> (ап, пано и max), VCO<sub>2</sub> (ап, пано и max), METs (ап, пано и max), VE/VO<sub>2</sub> (ап, пано и max) и КП (ап, пано и max). Данные показатели оказались наиболее объективными, стабильными и полезными при оценке физической работоспособности спортсменов.

Наиболее высокие показатели аэробной производительности регистрируются во второй и третьей группах, что подтверждается повышением (ЧСС ап, VO<sub>2</sub> ап, и КП ап) и снижением (VE/O<sub>2</sub> ап) медианы, характеризующей физическую работоспособность обследуемых спортсменов при анализе результатов методики СЭМ (табл. 2 и 3). Смещение вправо аэробной производительности во второй и третьей группах связано с увеличением физической работоспособности.

Таблица 3

Показатели эквивалентности и индексов в оценке физической работоспособности спортсменов при тредмил-тестировании ( $n = 98$ )

Table 3

The values of equivalence parameters and indexes in assessment of athletes' physical performance during a treadmill exercise test ( $n = 98$ )

Параметр	Группа	Первая ( $n = 30$ )	Вторая ( $n = 22$ )	Третья ( $n = 25$ )	Четвертая ( $n = 21$ )
КП ап		18,4 [17–19,8]	22 [19,1–25]	22,3 [20,5–24,1]	15,7 [14,7–16,8]
КП пано		21,5 [20–23,1]	24,4 [22,3–26,6]	26,1 [24,7–27,4]	20,2 [18,9–21,4]
КП max		21,7 [20,2–23,1]	25,4 [23,2–27,5]	26,5 [25,2–27,9]	20,6 [19,4–21,8]
METs ап		8,5 [7,5–9,4]	14,6 [12,5–16,7]	11,5 [10,4–12,6]	7 [6,5–7,5]
METs пано		13,7 [12,9–14,6]	18,2 [16,4–19,9]	16,4 [15,6–17,2]	11,2 [10,5–11,8]
METs max		14,4 [13,3–15,4]	18,3 [16,7–20]	17,1 [16,4–17,8]	13 [12,3–13,6]
VE/O <sub>2</sub> ап		2,1 [1,8–2,3]	1,8 [1,5–2,1]	1,9 [1,7–2,1]	2,3 [2,2–2,6]
VE/O <sub>2</sub> пано		2,6 [2,4–2,9]	2,2 [2,1–2,4]	2,3 [2,2–2,6]	2,9 [2,7–3,2]
VE/O <sub>2</sub> max		2,9 [2,4–2,7]	2,5 [2,4–2,7]	2,7 [2,6–2,9]	3,6 [3,4–3,9]
VE/CO <sub>2</sub> ап		2,3 [2,1–2,6]	2,1 [1,7–2,4]	2,3 [2,1–2,4]	2,6 [2,4–2,7]
VE/CO <sub>2</sub> пано		2,6 [2,4–2,9]	2,2 [2–2,3]	2,4 [2,2–2,5]	2,8 [2,5–3]
VE/CO <sub>2</sub> max		2,9 [2,7–3,2]	2,7 [2,3–3,2]	2,6 [2,5–2,8]	3,1 [2,9–3,4]
ЧСС/Rf ап		4,5 [3,6–5,2]	4,4 [3,6–5,2]	4,9 [4,6–5,3]	4,7 [4,2–5,5]
ЧСС/Rf пано		3,9 [3,4–4,3]	4,2 [3,8–4]	4,3 [3,9–4,6]	4,2 [3,9–4,4]
ЧСС/Rf max		3,6 [3,2–4,1]	3,7 [3,2–4,1]	3,8 [3,5–4]	3,5 [3,2–3,8]

Примечание: [Q1–Q3] — непараметрическая описательная статистика (ненормальное распределение), M — медиана, Q1 — нижний квартиль (25 %), Q3 — верхний квартиль (75 %).

Notes: [Q1–Q3] — nonparametric descriptive statistics (non-normal distribution), M — the median, Q1 — the lower quartile (25%), Q3 — the upper quartile (75%).

Показатели медианы VO<sub>2</sub> (ап, пано и max) представленные во второй таблице, наглядно подтверждают значимые ( $p < 0,05$ ) различия второй и третьей по сравнению с первой и четвертой группами обследования. В четвертой группе обследуемых лиц показатели VO<sub>2</sub> (ап, пано и max) имели более низкие значения ( $24,4 \pm 3,4$ ;  $38,7 \pm 4,5$ ;  $45,2 \pm 3,7$  мл/кг/мин соответственно) по сравнению с остальными испытуемыми, что объясняется меньшей частотой аэробных нагрузок в тренировочном процессе.

Во время физических нагрузок при возрастающей интенсивности регистрируется переход в анаэробный режим регуляции, который сопровождается увеличением ЧСС, возрастающей концентрацией лактата в периферическом кровеносном русле и скорости поглощения кислорода организмом. Показатели VO<sub>2</sub> пано характеризуются значимой ( $p < 0,05$ ) корреляционной связью ( $r > 0,70$ ) с VO<sub>2</sub> max. В подготовительном периоде альпинисты обычно тренируются с интенсивностью ниже анаэробного порога, и только в течение коротких периодов они выполняют упражнения высокой напряженности в силу необходимости профессиональной деятельности. Нагрузочное тестирование показало, что переход на анаэробное (VO<sub>2</sub> пано) энергетическое обеспечение

во второй группе выше (на 21,8, 6,5 и 37 % соответственно) по сравнению с первой ( $48 \pm 5,2$ ), третьей ( $57,4 \pm 5,7$ ) и четвертой ( $38,7 \pm 4,5$ ) группами. Тогда как в абсолютных значениях VO<sub>2</sub> пано при VT между второй и третьей группами не различаются (табл. 2).

Биологическая цена работы организма за адаптацию к физическим нагрузкам определяется по уровню потребления кислорода при максимальной интенсивности выполняемого упражнения. Так, во второй и третьей группах обследуемых спортсменов регистрируется оптимальное развитие метаболических процессов в организме, способствующих повышению выносливости и увеличению показателей VO<sub>2</sub> max на 30,9 % по сравнению с четвертой группой испытуемых лиц.

Медиана КП в первой и четвертой группах регистрируется существенно ниже по сравнению с остальными обследуемыми спортсменами (табл. 3) за счет более низкого значения потребления кислорода на уровне ПАНО. Достоверные различия ( $p < 0,05$ ) регистрируются только при сравнении четвертой с остальными группами.

В нашем обследовании КП в среднем регистрировался на уровне  $25,4 \pm 3,2$  и  $26,5 \pm 3,4$  мл/мин во второй и третьей группах соответственно. Чем выше КП,

тем более оптимальным считается взаимодействие кровообращения и дыхания, что положительно влияет на уровень физической работоспособности обследуемых лиц. Средние значения КП в обследовании регистрировались выше  $21,6 \pm 2,6$  мл/уд/мин, что является оптимальным клиническим признаком, характеризующим отличное функциональное состояние у испытуемых. Таким образом, КП представляет собой отдельный параметр, который нуждается в дальнейшем изучении, с точки зрения его значимости как для клинической оценки, так и для диагностики функциональных резервов организма спортсменов. Аэробные и анаэробные механизмы регуляции обладают разной эффективностью энергетического обеспечения организма. Используя показатель КП, можно оценить потребление кислорода обследуемыми лицами во время нагрузочного тестирования за одно сердечное сокращение.

Показатели КП и  $VO_2$  (ап, пано и max) часто рассматриваются другими исследователями в качестве достоверных прогностических показателей физической работоспособности спортсменов. Для персонализированного подхода в определении физической работоспособности и функциональных резервов организма необходимо динамическое обследование спортсменов в годичном профессиональном цикле.

Наиболее экономный расход энергии при выполнении физической работы на субмаксимальном уровне ( $VO_2$  max) наблюдается во второй группе по сравнению с первой и четвертой, где в среднем разница энергетической экономии в метаболических процессах у обследуемых спортсменов достигает 22 и 30,9 % соответственно. Наиболее низкие показатели метаболического эквивалента (METs ап, пано и max) отмечаются в четвертой группе (табл. 3) и демонстрируют отсутствие достаточного количества энергетических запасов в организме обследуемых лиц.

Во второй и третьей группах спортсменов уровень потребления кислорода в значительной степени определяет экономичность процессов обмена на субклеточном уровне при мышечной работе. Эти процессы способствуют повышению экономичности мышечной деятельности в тренировочном и соревновательном периодах, в результате чего у спортсменов наблюдается уменьшение энергозатрат в целом. В данных группах наблюдается повышение активности аэробного механизма энергообмена при нагрузочном тестировании на тредмиле «до отказа», что позволяет на максимально длительном промежутке времени выполнять тредмил-тестирование без накопления лактатов при ресинтезе АТФ. В четвертой группе спортсменов в период нагрузочного тестирования «до отказа» отмечаются резкие изменения внутренней среды организма, характеризующиеся некомпенсируемым ацидозом на уровне анаэробного энергообеспечения, что способствует снижению времени выполнения тредмил-тестирования.

Во всех обследуемых группах показатели вентиляции имеют U-образную форму, что наиболее заметно при максимальной интенсивности выполняемого теста на тредмиле. Статистически значимые ( $p < 0,05$ ) различия спироэргометрических показателей VE (ап, пано и max) регистрируются только в четвертой группе по сравнению с остальными обследуемыми лицами.

Соотношение  $VE/VO_2$  (ап, пано и max) представляет собой наилучшую ассоциацию или интеграцию между дыхательной и сердечно-сосудистой или вентиляционно-перфузионной системами. Соотношение этих показателей в динамике нагрузочного тестирования «до отказа» показывает соответствие фазам аэробного и анаэробного порогов, когда для потребления одного литра кислорода требуется меньший объем дыхания. Во второй и третьей подгруппах уровень дыхательного эквивалента по кислороду ( $VE/O_2$ ) регистрировался на уровне с  $2,2 \pm 0,4$  до  $2,3 \pm 0,3$  (отн. ед.) соответственно.

Анализ результатов обследования методикой СЭМ позволил выявить наибольшее количество статистически значимых ( $p < 0,05$ ) отличий в показателях, характеризующих уровень максимального потребления кислорода в организме обследуемых лиц, распределенных во вторую группу. Тогда как в четвертой группе наблюдается обратно пропорциональное снижение показателей  $VO_2$  max. В четвертой группе уровень  $VE/O_2$  регистрируется значительно выше, чем у остальных спортсменов (таблица 3). Низкий уровень  $VO_2$  max в четвертой группе также можно объяснить выраженным увеличением частоты и уменьшением глубины дыхательных движений, в результате этого снижается перфузия кислорода через альвеолярно-гематологический барьер. В данной группе уровень КП max регистрировался значимо ( $p < 0,05$ ) ниже по сравнению со второй и третьей группами испытуемыми за счет увеличения ЧСС на более низком уровне  $VO_2$  max.

Динамика ЧСС во время нагрузочного тредмил-тестирования хорошо изучена и не требует дополнительной интерпретации. Данный показатель отражает приспособительную реакцию организма обследуемых лиц к физической нагрузке. Полученные результаты планируется использовать для оценки эффективности проводимых тренировочных программ при подготовке спортсменов. В альпинизме очень важна высокая аэробная производительность, благоприятно влияющая на метаболические процессы в организме при достижении поставленной цели. Достоверно ( $p < 0,05$ ) выше регистрируется аэробная производительность во второй и третьей группах (табл. 2).

Увеличение потребления кислорода на уровне ПАНО во всех обследуемых группах связано со степенью физической тренированности и находится в сильной корреляционной связи ( $r > 0,70$ ;  $p < 0,05$ ) с повышением ЧСС и компенсируемым снижением соотношения ЧСС/RF, которое наименее выражено во второй группе (табл. 2 и 3). Эти процессы способствуют развитию

энергетической экономичности, а именно: уменьшению вентиляции мертвого пространства и снижению времени, необходимого для поглощения кислорода в легочных капиллярах.

У спортсменов первой и четвертой групп отмечается снижение интенсивности потребления кислорода на уровне АП и ПАНО в результате уменьшения частоты дыхательных движений при вентиляции легких (табл. 2). Такие изменения также возможно объяснить снижением частоты и увеличением глубины дыхательных движений, в результате чего кислород лучше поглощался в легочных капиллярах.

В первых трех группах обращает на себя внимание увеличение максимального ЧСС, что можно объяснить эффектом тренированности спортсменов, тогда как в четвертой группе наблюдается незначительное снижение ЧСС max (табл. 2). Необходимо отметить, что, несмотря на различия времени нагрузочного тестирования у отдельных спортсменов, в первых трех группах медианы ЧСС max при обследовании находятся на одном уровне. Также в ходе нагрузочного тестирования «до отказа» в первых трех группах выявлено отсутствие статистически значимых ( $p > 0,05$ ) межгрупповых отличий для следующих показателей:  $t$  (ап, пано и max), ЧСС (до теста, АП, ПАНО, МАХ и восстановления), RER, Rf (ап, пано и max), VT (ап, пано и max), VE/CO<sub>2</sub> (ап, пано и max) и ЧСС/Rf (ап, пано и max). При этом наличие достоверной ( $p < 0,05$ ) разницы в данных показателях между четвертой и остальными группами связано с особенностями тренировочного режима обследуемых лиц.

По данным, представленным в табл. 2 и 3, видно, что физическая работоспособность спортсменов во второй и третьей группах достоверно не различается и сохраняется на одном уровне независимо от вида спортивной деятельности. Необходимо учитывать, что значения некоторых показателей методики СЭМ, определенных во время нагрузочного теста «до отказа», не являются отражением функциональной готовности обследуемых лиц к нагрузкам высокой интенсивности в неблагоприятных условиях. Таким образом, оценка значений ЧСС max, VO<sub>2</sub> max и КП max VCO<sub>2</sub> max, METs max и VE/VO<sub>2</sub> max не позволяет определить уровень функционального состояния организма спортсменов экстремальных видов деятельности, а предоставляет возможность по значениям этих параметров определить уровень функциональных резервов организма и физическую тренированность обследуемых лиц.

#### **Вклад авторов:**

**Пустовойт Василий Игоревич** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Балакин Евгений Игоревич** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Муртазин Артур Амирович** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

Выполнение нагрузочного тестирования на тредмиле «до отказа» на уровне ПАНО приводит к резко возрастающему лактатацидозу, обычно это выражается во всех показателях СЭМ, особенно на ЧСС пано, VO<sub>2</sub> пано, КП пано, VCO<sub>2</sub> пано, METs пано и VE/VO<sub>2</sub> пано. В данном случае концентрация лактата в крови находится в сильной корреляционной связи с абсолютными значениями поглощения VO<sub>2</sub> (ПАНО и МАХ, мл/мин) [7–12]. Тем не менее во время тренировочного периода спортсмены испытывают нагрузки интенсивностью ниже ПАНО, и только в течение коротких периодов они тренируются с интенсивностью, соответствующей анаэробному порогу в силу видоспецифичности спортивной деятельности.

Сравнение результатов, представленных во второй и третьей таблицах, показало достоверные различия между обследуемыми, где во второй и третьей группах наиболее выражены сдвиги значений некоторых показателей вправо, подтверждающие высокую устойчивость организма к физическим нагрузкам и являющиеся хорошим прогностическим показателем наличия больших функциональных резервов в организме. Во всех группах, кроме четвертой, наблюдается закономерное увеличение времени наступления ПАНО, что можно объяснить более высокой выносливостью и мышечной силой обследуемых спортсменов. Тем не менее анаэробные механизмы регуляции в организме обследуемых лиц действуют короткое время вследствие быстрого истощения источников энергии.

#### **4. Выводы**

В ходе обследования спортсменов различных видов спортивной деятельности необходим комплексный анализ как общеизвестных, так и наименее изученных кардиореспираторных показателей, полученных в процессе тредмил-тестирования «до отказа». общепринятые показатели VO<sub>2</sub> (ап, пано и max), METs (ап, пано и max) во второй группе находятся на более высоком уровне по сравнению с остальными обследуемыми лицами, что указывает на высокую физическую работоспособность и хорошие функциональные резервы организма спортсменов. Исследование VO<sub>2</sub> (ап, пано и max), VCO<sub>2</sub> (ап, пано и max), METs (ап, пано и max), VE/VO<sub>2</sub> (ап, пано и max) и КП (ап, пано и max) может способствовать получению данных о физической работоспособности и здоровье спортсменов, планированию и последующему наблюдению за тренировочными процессами, а также может быть полезно для раннего отбора спортсменов в сборную команду.

#### **Authors' contributions:**

**Vasylyi I. Pustovoyt** — article preparation, data collection and processing.

**Evgenii I. Balakin** — article preparation, data collection and processing.

**Aleksei V. Khan** — article preparation, data collection and processing.

**Максютов Наиль Фанисович** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Меркулова Полина Сергеевна** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Кубышев Константин Александрович** — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала.

**Arthur A. Murtazin** — article preparation, data collection and processing.

**Neil F. Maksjutov** — article preparation, data collection and processing.

**Polina S. Merkulova** — article preparation, data collection and processing.

**Konstantin A. Kubyshev** — article preparation, data collection and processing.

### Список литературы

1. Пустовойт В.И., Ключников М.С., Назарян С.Е., Ероян И.А., Самойлов А.С. Вариабельность сердечного ритма, как основной метод оценки функционального состояния организма спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта. *Современные вопросы биомедицины*. 2021;5(2). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_02\\_4](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_02_4)

2. Пустовойт В.И., Никонов Р.В., Самойлов А.С., Ключников М.С., Назарян С.Е. Цитологические и биохимические показатели крови при развитии различных неспецифических адаптационных реакций у спортсменов экстремальных видов спорта. *Курортная Медицина*. 2021;(2):85–91. [https://doi.org/10.51871/2304-0343\\_2021\\_2\\_85](https://doi.org/10.51871/2304-0343_2021_2_85)

3. Пустовойт В.И., Ключников М.С., Никонов Р.В., Виноградов А.Н., Петрова М.С. Характеристика основных показателей вариабельности сердечного ритма у спортсменов циклических и экстремальных видов спорта. *Кремлевская Медицина. Клинический Вестник*. 2021;(1):26–30.

4. Пустовойт В.И., Самойлов А.С. Разработка основных критериев для оценки степени адаптации организма спортсменов-альпинистов к условиям горного климата. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2019;(73):42–8. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2019-73-42-48>

5. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Никонов Р.В. Особенности инфекционной патологии у спортсменов-дайверов в сложных климатических условиях. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2020;10(1):67–75. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.67>

6. Company-COSMED [Internet]. Available from: <https://www.cosmed.com/en/company>

7. Alberton C.L., Andrade L.S., Pinheiro R.B., Pinto S.S. Anaerobic Threshold in a Water-Based Exercise: Agreement Between Heart Rate Deflection Point and Lactate Threshold Methods. *J. Strength Cond. Res.* 2021;35(9):2472–2478. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003161>

8. Quittmann O.J., Appelhans D., Abel T., Strüder H.K. Evaluation of a sport-specific field test to determine maximal lactate accumulation rate and sprint performance parameters in running. *J. Sci. Med. Sport.* 2020;23(1):27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.013>

9. Baumgart J.K., Moes M., Skovereng K., Ettema G., Sandbakk Ø. Examination of gas exchange and blood lactate thresholds in Paralympic athletes during upper-body poling. *PloS One*. 2018;13(10): e0205588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205588>

10. Heuberger J.A.A.C., Gal P., Stuurman F.E., de Muinck Keizer W.A.S., Mejia Miranda Y., Cohen A.F. Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PloS One*. 2018;13(11): e0206846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206846>

11. Cerezuela-Espejo V., Courel-Ibáñez J., Morán-Navarro R., Martínez-Cava A., Pallarés J.G. The Relationship Between

### References

1. Pustovojt V.I., Klyuchnikov M.S., Nazaryan S.E., Eroyan I.A., Samojlov A.S. Heart rate variability as the main method of assessing the functional state of athletes participating in extreme sports. *Sovremennye voprosy biomeditsiny = Modern Issues of Biomedicine*. 2021;5(2) (In Russ.). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2021\\_05\\_02\\_4](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_02_4)

2. Pustovojt V.I., Nikonov R.V., Samoylov A.S., Klyuchnikov M.S., Nazaryan S.E. Main cytological and biochemical parameters of blood in the development of a non-specific adaptive reaction with athletes participating in extreme sports. *Resort medicine*. 2021;(2):85–91 (In Russ.). [https://doi.org/10.51871/2304-0343\\_2021\\_2\\_85](https://doi.org/10.51871/2304-0343_2021_2_85)

3. Pustovojt V.I., Klyuchnikov M.S., Nikonov R.V., Vinogradov A.N., Petrova M.S. Characteristics of the main indicators of heart rate variability in cyclical and extreme sports athletes. *Kremlin Medicine Journal*. 2021;(1):26–30 (In Russ.).

4. Pustovojt V.I., Samoilov A.S. Development of basic criteria for assessing the adaptation level of athletes-mountaineers' organism to a mountain climate. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2019;(73):42–8 (In Russ.). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2019-73-42-48>

5. Pustovojt V.I., Samoilov A.S., Nikonov R.V. Divers' infectious pathologies in severe climate. *Sports medicine: research and practice*. 2020;10(1):67–75 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.67>

6. Company-COSMED [Internet]. Available from: <https://www.cosmed.com/en/company>

7. Alberton C.L., Andrade L.S., Pinheiro R.B., Pinto S.S. Anaerobic Threshold in a Water-Based Exercise: Agreement Between Heart Rate Deflection Point and Lactate Threshold Methods. *J. Strength Cond. Res.* 2021 Sep 1;35(9):2472–2478. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003161>

8. Quittmann O.J., Appelhans D., Abel T., Strüder H.K. Evaluation of a sport-specific field test to determine maximal lactate accumulation rate and sprint performance parameters in running. *J. Sci. Med. Sport.* 2020 Jan;23(1):27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.013>

9. Baumgart J.K., Moes M., Skovereng K., Ettema G., Sandbakk Ø. Examination of gas exchange and blood lactate thresholds in Paralympic athletes during upper-body poling. *PloS One*. 2018;13(10): e0205588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205588>

10. Heuberger J.A.A.C., Gal P., Stuurman F.E., de Muinck Keizer W.A.S., Mejia Miranda Y., Cohen A.F. Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PloS One*. 2018;13(11): e0206846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206846>

11. Cerezuela-Espejo V., Courel-Ibáñez J., Morán-Navarro R., Martínez-Cava A., Pallarés J.G. The Relationship Between



Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Front. Physiol.* 2018;9:1320. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01320>

12. **Bräuer E.K., Smekal G.** VO<sub>2</sub> Steady State at and Just Above Maximum Lactate Steady State Intensity. *Int. J. Sports Med.* 2020;41(9):574–581. <https://doi.org/10.1055/a-1100-7253>

Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Front. Physiol.* 2018;9:1320. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01320>

12. **Bräuer E.K., Smekal G.** VO<sub>2</sub> Steady State at and Just Above Maximum Lactate Steady State Intensity. *Int. J. Sports Med.* 2020 Aug;41(9):574–581. <https://doi.org/10.1055/a-1100-7253>

#### Информация об авторах:

**Пустовойт Василий Игоревич**, к.м.н., заведующий лабораторией больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru))

**Балакин Евгений Игоревич**, к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([evgbalakin@yandex.ru](mailto:evgbalakin@yandex.ru))

**Хан Алексей Викторович**, руководитель центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([fmbc.sportcenter@gmail.com](mailto:fmbc.sportcenter@gmail.com))

**Муртазин Артур Амирович**, младший научный сотрудник лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([aa.murtazin@gmail.com](mailto:aa.murtazin@gmail.com))

**Максютов Наиль Фанисович\***, младший научный сотрудник лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([Maksjytov.nail@gmail.com](mailto:Maksjytov.nail@gmail.com))

**Меркулова Полина Сергеевна**, врач по спортивной медицине ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([merkulova\\_95@mail.ru](mailto:merkulova_95@mail.ru))

**Кубышев Константин Александрович**, инженер лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины центра спортивной медицины и реабилитации ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, 23 ([kostya\\_kuby@rambler.ru](mailto:kostya_kuby@rambler.ru))

#### Information about the authors:

**Vasylyi I. Pustovoyt**, MD, PhD, head of the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru))

**Evgenii I. Balakin**, MD, PhD, senior researcher in the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([evgbalakin@yandex.ru](mailto:evgbalakin@yandex.ru))

**Aleksei V. Khan**, head of sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([fmbc.sportcenter@gmail.com](mailto:fmbc.sportcenter@gmail.com))

**Arthur A. Murtazin**, junior researcher in the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([aa.murtazin@gmail.com](mailto:aa.murtazin@gmail.com))

**Neil F. Maksjutov\***, junior researcher in the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([Maksjytov.nail@gmail.com](mailto:Maksjytov.nail@gmail.com))

**Polina S. Merkulova**, sports medicine physician at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([merkulova\\_95@mail.ru](mailto:merkulova_95@mail.ru))

**Konstantin A. Kubyshev**, research engineer in the big data and precision sports medicine laboratory at the sports medicine and rehabilitation center at the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 23, Marshala Novikova, Moscow, 123098, Russia ([kostya\\_kuby@rambler.ru](mailto:kostya_kuby@rambler.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author