

К УЧЁТУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЁГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В МОНИТОРИНГЕ СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕЛОСИПЕДНОГО СПОРТА – ШОССЕ)

А.В. Кубеев, kubeev.a.v@vniifk.ru, <http://orcid.org/0009-0002-9516-3787>

В.П. Черкашин, cherkashin.v.p@vniifk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2730-8737>

Ю.С. Лемешева, lemesheva.y.s@vniifk.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7663-1597>

Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, Россия

Аннотация. Цель: установление целесообразности включения указанного параметра, фиксируемого во время стандартных лабораторных аэробных нагрузок, в мониторинг спортивной подготовки представителей циклических видов спорта. **Материалы и методы.** В ходе тестирования на велоэргометре велосипедистов-шоссейников различного пола, возраста (от 10 до 22 лет и старше) и квалификации (от третьего юношеского разряда до мастера спорта международного класса) на фоне дозированных аэробных нагрузок, включающих нагрузку функциональной пороговой мощности (FTP) как надёжного индикатора аэробной работоспособности, в числе прочих показателей фиксировались данные газообмена. Измерения проводились в том числе и лонгитудинально. **Результаты.** Статистически значимой связи между эффективностью лёгочной вентиляции при нагрузке на уровне FTP и индивидуальным уровнем FTP испытуемых не обнаружено. Установлена недостаточная воспроизводимость (нестабильность) рассматриваемого показателя, причем разброс его значений не коррелировал с изменениями аэробной работоспособности. **Заключение.** Единственным практическим приложением параметра «коэффициент использования кислорода» в мониторинге спортивной подготовки представителей циклических видов спорта является возможное прогнозирование его значений при работе на уровне FTP и выше на основе значений, зафиксированных в лабораторном тестировании с относительно невысокой мощностью работы (на уровне 60 % от FTP). Результаты исследования зависимости значений изучаемого параметра на уровне функциональной пороговой мощности (FTP) показали отсутствие целесообразности его учёта в мониторинге спортивной подготовки по причине низкой надёжности и неинформативности в отношении аэробной работоспособности.

Ключевые слова: циклические виды спорта, велосипедный спорт, шоссейные гонки, эффективность лёгочной вентиляции, аэробная работоспособность, функциональная пороговая мощность, мощность педалирования, потребление кислорода, мониторинг спортивной подготовки

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00001-25-00 (код темы № 001-25/8).

Для цитирования: Кубеев А.В., Черкашин В.П., Лемешева Ю.С. К учёту показателей эффективности лёгочной вентиляции в мониторинге спортивной подготовки (на примере велосипедного спорта – шоссе) // Человек. Спорт. Медицина. 2026. Т. 26, № 1. С. 138–144. DOI: 10.14529/hsm260117

ON THE INCLUSION OF PULMONARY VENTILATION EFFICIENCY INDICATORS IN ATHLETIC TRAINING MONITORING: A CASE STUDY IN ROAD CYCLING

A.V. Kubeev, kubeev.a.v@vniifk.ru, <http://orcid.org/0009-0002-9516-3787>

V.P. Cherkashin, cherkashin.v.p@vniifk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2730-8737>

Yu.S. Lemesheva, lemesheva.y.s@vniifk.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7663-1597>

Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia

Abstract. Aim. This study aims to justify the inclusion of the specified parameter, recorded during standard laboratory aerobic exercise, in the monitoring of athletic training in athletes from cyclic sports. **Materials and methods.** During cycle ergometer testing, road cyclists of both sexes, varying in age (from 10 to 22 years and older) and competitive level (from the 3rd junior category to International Master of Sport) performed graded aerobic exercise that included a functional threshold power (FTP) bout, a reliable indicator of aerobic capacity. Gas exchange data, along with other parameters, were recorded. Measurements were also obtained longitudinally. **Results.** No statistically significant correlation was found between pulmonary ventilation efficiency at FTP and individual FTP levels. The parameter demonstrated insufficient reproducibility (instability), and its dispersion did not correlate with changes in aerobic capacity. **Conclusion.** The only practical application of the oxygen utilization coefficient for monitoring athletic training in athletes from cyclic sports lies in the potential to forecast its values during exercise at or above FTP based on values recorded during laboratory testing at a relatively low power output (60% of FTP). The study found no justification for including the parameter measured at FTP in athletic training monitoring, as it demonstrated low reliability and provided no meaningful information on aerobic performance.

Keywords: cyclic sports, cycling, road cycling, pulmonary ventilation efficiency, aerobic capacity, functional threshold power, pedalling power, oxygen consumption, athletic training monitoring

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the state assignment of FSBI FSC VNIIFK No. 777-00001-25-00 (Research Code № 001-25/8).

For citation: Kubeev A.V., Cherkashin V.P., Lemeshev Yu.S. On the inclusion of pulmonary ventilation efficiency indicators in athletic training monitoring: a case study in road cycling. *Human. Sport. Medicine*. 2026;26(1):138–144. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm260117

Введение. Индикатором эффективности лёгочной вентиляции традиционно считают отношение минутного объёма потребления кислорода ($\dot{V}O_2$) к минутному объёму дыхания ($\dot{V}E$) – коэффициент использования кислорода (O_2ER или Oxygen extraction ratio, измеряется в мл/л). Физиологический смысл параметра – характеристика диффузионной способности лёгких по кислороду. В спортивной практике она особенно интересна применительно к стандартным функциональным аэробным нагрузкам. В таком приложении обнаружение устойчивой связи O_2ER с объективными критериями специальной (в данном случае – аэробной) работоспособности указало бы на целесообразность его учёта при проектировании тренировочных программ в циклических видах спорта. Следует отметить, что в специальной литературе свидетельства в

пользу этого имеются [2, 3], что и побудило к проведению настоящего исследования.

Цель – установление целесообразности включения параметра O_2ER , фиксируемого во время стандартных аэробных нагрузок, в мониторинг спортивной подготовки представителей циклических видов спорта наравне с обладающими доказанной валидностью [1, 4, 5] параметрами $\dot{V}O_2$ и $\dot{V}E$.

В качестве примера выбран велоспорт-шоссе как самый «аэробный» по условиям тренировочно-соревновательной деятельности и относительно простой в техническом отношении вид спорта.

Материалы и методы. При проведении исследования по первому направлению определяли специальную работоспособность в тесте Wattbike 20 minute FTP test и параллельно – O_2ER на уровне FTP. Испытуемые – велоси-

педисты-шоссейники: мужская группа – 53 чел., спортивная квалификация – от второго юношеского разряда до МСМК; женская группа – 20 чел., от третьего юношеского разряда до МС. Все они отнесены к определённым возрастным категориям в соответствии с правилами велосипедного спорта. Некоторые испытуемые тестировались неоднократно.

Второе направление работы было связано с изучением индивидуальной воспроизводимости показателей O_2ER на уровне FTP по прошествии тех или иных интервалов времени.

В третьем направлении проведено тестирование по программе «4 ступени по 7 минут с мощностью педалирования 60, 75, 90 и 105 % от индивидуального показателя FTP». Выбранные значения соответствовали границам трёх зон мощности работы с преимущественно аэробным и одной – с аэробно-анаэробным энергообеспечением [5]. Испытуемые – случайно подобранные здоровые люди мужского (6 чел.) и женского (2 чел.) пола в возрасте от 26 до 66 лет. Нагрузка по ступеням подбиралась индивидуально на основе предварительно проведённого Wattbike 20 minute FTP test. Большинство испытуемых тестировались многократно – до 10–13 раз в течение 2–3 недель. Суммарное количество проведённых тестирований составило 77; при этом первые два теста каждого испытуемого не включались в анализ в связи с необходимостью устранения эффекта привыкания. Таким образом, в итоговую выборку вошли данные 64 тестирований.

Во время комплексного обследования спортсменов на велоэргометре в числе прочих регистрировались параметры газообмена, и в частности – $\dot{V}O_2$ и $\dot{V}E$, с помощью системы

MasterScreen (CareFusion, Германия). Параметры нагрузки оценивались по средним значениям мощности педалирования – P при параллельной фиксации частоты сердечных сокращений. В каждом интервале нагрузки первые две минуты регистрации параметров исключались из анализа с целью устранения переходных процессов; таким образом, оценке подлежали данные, полученные в течение оставшихся пяти минут каждого 7-минутного рабего этапа.

Результаты. Обобщённые данные по измерению O_2ER на уровне индивидуальной FTP в ходе Wattbike 20 minute FTP test (средневыборочный показатель – X_{sr} , стандартное отклонение – sd , коэффициент вариации – cv) приведены в табл. 1.

Несмотря на преимущество спортсменов над спортсменками по средневыборочному значению O_2ER на уровне FTP во всех возрастных категориях, статистически достоверно (при $p < 0,05$) оно только в 10–12 и 15–16 лет. Усреднённое значение O_2ER во всей женской группе составило 26,57 мл/л, в мужской – 30,02 мл/л (на 11,5 % выше, различие статистически значимо при $p < 0,05$). Следует отметить, что по нашим данным скорость передвижения спортсменов в соревнованиях на велотрассах сравнимой длины и трудности ниже, чем у спортсменов одинаковой спортивной квалификации, на сопоставимую величину – примерно 11 %. При этом гистограммные распределения показали слабо выраженную отрицательную многолетнюю динамику средневыборочных значений O_2ER у занимающихся: снижение около 0,3 мл/л в год применительно к спортсменам и около 0,2 мл/л в год применительно к спортсменкам.

Таблица 1
Table 1

Характеристика значений коэффициента использования кислорода (O_2ER) на уровне функциональной пороговой мощности (FTP) в различных половозрастных выборках велосипедистов-шоссейников

Characteristics of the Oxygen Extraction Ratio (O_2ER) at Functional Threshold Power (FTP) Across Sex and Age Groups of Road Cyclists

Возраст, лет Age, yrs	n	X_{sr}	sd	cv	n	X_{sr}	sd	cv
	Женская группа (Female)				Мужская группа (Male)			
10–12	10	27,5	2,3	8,5 %	21	31,1	4,1	13,2 %
13–14	8	27,3	1,9	7,1 %	30	29,8	3,7	12,3 %
15–16	10	24,9	3,3	13,3 %	18	30,0	3,5	11,8 %
17–18	7	26,4	2,8	10,7 %	5	29,1	1,6	5,7 %
19–22	6	27,0	2,5	9,3 %	5	27,9	3,1	11,2 %

Таблица 2

Table 2

Значения коэффициентов использования кислорода (O_2ER) в ступенчатом тесте «4×7 минут»
(60–75–90–105 % от уровня функциональной пороговой мощности – FTP)
Oxygen Extraction Ratio (O_2ER) Values During the Incremental 4×7-Minute Test
(60–75–90–105 % of Functional Threshold Power – FTP)

Испытуемый (пол, возраст) Subject (sex: F or M, age)	Мощность педалирования (% от FTP) / среднее значение коэффициента использования O_2 и стандартное отклонение (мл/л) Pedalling Power (% of FTP) / Mean $\pm$ SD of Oxygen Extraction Ratio (O_2ER) (mL·L ⁻¹)			
	60	75	90	105
A. (M, 66, $n_{tst} = 10$)	25,98 $\pm$ 1,27	24,27 $\pm$ 0,89	22,78 $\pm$ 0,79	20,54 $\pm$ 0,65
Л. (F, 49, $n_{tst} = 13$)	30,07 $\pm$ 2,03	29,46 $\pm$ 1,86	29,02 $\pm$ 1,80	26,98 $\pm$ 1,56
E. (M, 38, $n_{tst} = 6$)	36,78 $\pm$ 1,57	34,59 $\pm$ 1,79	33,01 $\pm$ 2,00	29,06 $\pm$ 1,20
Д. (M, 53, $n_{tst} = 10$)	30,24 $\pm$ 1,59	29,56 $\pm$ 1,37	28,17 $\pm$ 1,37	26,26 $\pm$ 1,68
Ш. (M, 43, $n_{tst} = 10$)	32,79 $\pm$ 1,71	32,96 $\pm$ 1,89	32,27 $\pm$ 1,50	28,80 $\pm$ 1,82
A. (F, 43, $n_{tst} = 10$)	29,39 $\pm$ 1,07	29,09 $\pm$ 1,31	28,93 $\pm$ 1,24	28,38 $\pm$ 1,33
H. (M, 26, $n_{tst} = 4$)	38,62 $\pm$ 1,99	34,12 $\pm$ 1,92	30,46 $\pm$ 1,92	27,03 $\pm$ 1,76
K. (M., 27, $n_{tst} = 1$)	38,8	35,7	32,4	30,1

Однако этот в целом весьма неожиданный и труднообъяснимый тренд характеризуется очень низкой степенью достоверности: коэффициенты детерминации (R^2) составили лишь 0,04 и 0,05 соответственно.

Нами не обнаружено статистически значимой корреляции между демонстрируемым O_2ER на уровне FTP и индивидуальным уровнем FTP испытуемых велосипедистов как надежным и информативным [4–6] индикатором их аэробной работоспособности. Гипотеза о наличии взаимосвязи между рассматриваемым физиологическим показателем и уровнем аэробной работоспособности велосипедистов-шошнейников должна быть отвергнута.

Лонгитюдинальное исследование с привлечением 22 испытуемых (май 2023 г. – сентябрь 2023 г. – май 2024 г.) продемонстрировало высокую вариативность показателей O_2ER на уровне FTP, зафиксированных в течение года ($n = 64$). Различия индивидуальных значений в среднем составили: по женской группе – 14,5 % ($sd = 5,7$ %, $cv = 39,3$ %, $max = 25,8$ %, $min = 5,7$ %), по мужской – 15,3 % ($sd = 1,3$ %, $cv = 8,4$ %, $max = 38,0$ %, $min = 1,3$ %). Повторное тестирование трёх испытуемых с интервалом в 2–3 дня также продемонстрировало высокую вариативность индивидуальных значений O_2ER : 1,3; 3,3; 15,2 %. Все это говорит о недостаточной воспроизводимости (нестабильности) рассматриваемого показателя, причём разброс его значений не

коррелирует с изменениями специальной работоспособности.

На завершающем этапе исследования для каждого испытуемого, каждого единичного тестирования и каждой ступени физической нагрузки был рассчитан параметр O_2ER по усреднённым значениям $\dot{V}O_2$ и $\dot{V}E$. Средние по ступеням нагрузки значения O_2ER в тесте «4×7 минут» представлены в табл. 2, на рис. 1, 2.

Результаты исследований показали, что по мере роста мощности педалирования и, соответственно, роста потребления кислорода у всех испытуемых происходит обратно пропорциональное уменьшение параметра O_2ER по функции $y = ax^2 + bx + c$. Данная зависимость несколько усиливается с ростом аэробной работоспособности испытуемых.

Коэффициент аппроксимации представленного на рис. 2 графика функции $y = ax^2 + bx + c$ оказался достаточно высоким – 0,993, что может свидетельствовать о закономерном характере взаимосвязи O_2ER с мощностью педалирования, если оба параметра взяты в относительных единицах. Снижение O_2ER составляет примерно 3,5 % на каждые 10 % прироста мощности работы (в линейном выражении).

Отметим, что у всех испытуемых средние значения O_2ER на ступенях «60 % FTP» (первая ступень) и «105 % FTP» (четвертая ступень) достоверно различаются ($p < 0,05$).

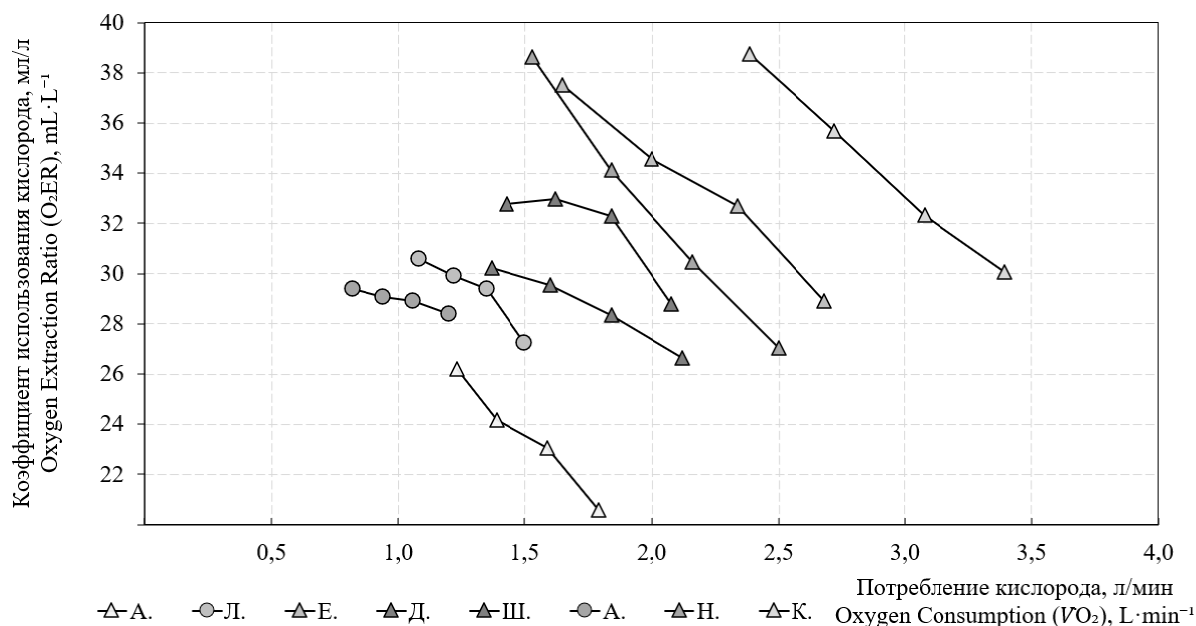


Рис. 1. Взаимосвязь индивидуальной динамики коэффициентов использования кислорода с минутным его потреблением в ступенчатом тесте «4×7 минут» (слева – направо: 60–75–90–105 % от FTP)

Fig. 1. Relationship between individual dynamics of the oxygen extraction ratio (O_2ER) and minute oxygen consumption (VO_2) during the incremental 4×7-minute test (left to right: 60–75–90–105 % of FTP)

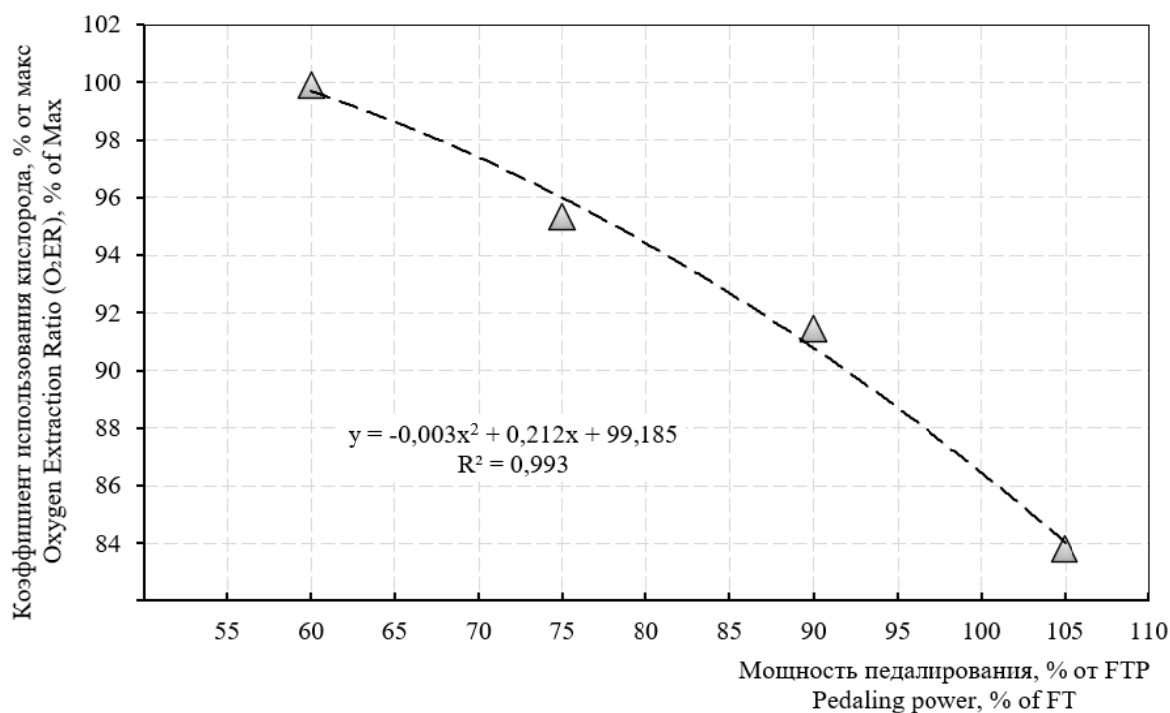


Рис. 2. Корреляция между степенями нагрузки (60–75–90–105 % от FTP) и коэффициентом использования кислорода (относительно максимального значения на ступени 60 % от FTP) в тесте «4×7 минут» (средние значения по степеням нагрузки, n = 64)

Fig. 2. Correlation between workload stages (60–75–90–105 % of FTP) and the oxygen extraction ratio (relative to the maximum value at 60 % of FTP) during the 4×7-minute test (mean values for workload stages, n = 64)

Заключение. Единственным практическим приложением параметра «коэффициент использования кислорода» в мониторинге спортивной подготовки представителей циклических видов спорта является возможное прогнозирование его значений при нагрузках, соответствующих или превышающих уровень функциональной пороговой мощности $\pm$ FTP на основе значений, зафиксированных в лабораторном тестировании с относительно невысокой мощностью

аэробной работы $\pm$ на уровне 60 % от FTP.

В то же время результаты исследования зависимости значений изучаемого параметра $\pm$ O₂ER на уровне функциональной пороговой мощности педалирования $\pm$ FTP при выполнении Wattbike 20 minute FTP test показали отсутствие целесообразности его учёта в мониторинге спортивной подготовки по причине низкой надёжности и ограниченной информативности в контексте оценки аэробной работоспособности.

Список литературы

1. Ванюшин, Ю.С. Роль и значение компонентов кардиореспираторной системы спортсменов при адаптации к функциональным нагрузкам / Ю.С. Ванюшин, Н.А. Фёдоров, Г.К. Хузина // *Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта*. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 101–105. DOI: 10.14526/2070-4798-2021-16-2-101-105
2. Ванюшин, Ю.С. Резервные возможности кардиореспираторной системы – залог высоких спортивных достижений в циклических видах спорта / Ю.С. Ванюшин, Д.Е. Елистратов, Н.Ф. Ишмухаметова // *Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта*. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 144–149. DOI: 10.14526/2070-4798-2022-17-1-144-149
3. Кардиореспираторная система при велоэргометрическом тестировании у лыжников Республики Коми с разной степенью тренированности / Ю.Г. Солонин, Т.П. Логинова, И.О. Гарнов и др. // *Ульянов. мед.-биол. журнал*. – 2019. – № 1. – С. 76–82. DOI: 10.34014/2227-1848-2019-1-76-84
4. Структура и содержание системы спортивной подготовки спортсменов в длительных локомоциях велосипедного спорта / А.В. Кубеев, Е.Д. Горбунов, Е.А. Савенкова и др. – М., 2024. – 236 с.
5. Allen, H. *Training and Racing with a Power Meter* / H. Allen, A. Coggan, S. McGregor. – 3th ed. – 2019, 384 p. – <https://zoboko.com/download-epub/jj0394w5/training-and-racing-with-a-power-meter-third-edition?hash=4f35f87115aedf7d862650fcf305ed6f> (дата обращения: 15.03.2025).
6. Friel J. *The cyclist's training bible: the world's most comprehensive training guide* / J. Friel. – 5th ed. – 2018, 675 p. – <https://ru.z-library.sk/book/16843186/5dc6ec/the-cyclists-training-bible-the-worlds-most-comprehensive-training-guide-pdfdrivecom.html> (дата обращения: 15.03.2025).

References

1. Vanyushin Yu.S., Fedorov N.A., Khuzina G.K. [The Role and Importance of Components of the Cardiorespiratory System of Athletes in Adaptation to Functional Loads]. *Pedagogiko-psikhologicheskiye i mediko-biologicheskiye problemy fizicheskoy kul'tury i sporta* [Pedagogical, Psychological and Medical-biological Problems of Physical Education and Sports], 2021, vol. 16, no. 2, pp. 101–105. (in Russ.) DOI: 10.14526/2070-4798-2021-16-2-101-105
2. Vanyushin Yu.S., Elistratov D.E., Ishmukhametova N.F. [Reserve Capacity of the Cardiorespiratory System is the Key to High Athletic Achievements in Cyclic Sports]. *Pedagogiko-psikhologicheskiye i mediko-biologicheskiye problemy fizicheskoy kul'tury i sporta* [Pedagogical, Psychological and Medical-biological Problems of Physical Education and Sports], 2022, vol. 17, no. 1, pp. 144–149. (in Russ.) DOI: 10.14526/2070-4798-2022-17-1-144-149
3. Solonin Yu.G., Loginova T.P., Garnov I.O. et al. [Cardiorespiratory System During Bicycle Ergometric Testing in Skiers of the Komi Republic with Different Levels of Training]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical and Biological Journal], 2019, no. 1, pp. 76–82. (in Russ.) DOI: 10.34014/2227-1848-2019-1-76-84
4. Kubeev A.V., Gorbunov E.D., Savenkova E.A. et al. *Struktura i sodержanie sistemy sportivnoy podgotovki sportsmenov v dlitel'nykh lokomotsiyakh velosipednogo sporta* [The Structure and Content of the System of Sports Training of Athletes in Long-distance Cycling]. Moscow, 2024. 236 p.

5. Allen H., Coggan A., McGregor S. Training and Racing with a Power Meter. 3rd ed., 2019. 384 p. Available at: <https://zoboko.com/download-epub/jj0394w5/training-and-racing-with-a-power-meter-third-edition?hash=4f35f87115aedf7d862650fcf305ed6f> (accessed 15.03.2025).

6. Friel J. The Cyclist's Training Bible: the World's Most Comprehensive Training Guide. 5nd ed., 2018. 675 p. Available at: <https://ru.z-library.sk/book/16843186/5dc6ec/the-cyclists-training-bible-the-worlds-most-comprehensive-training-guide-pdfdrivecom.html> (accessed 15.03.2025).

Информация об авторах

Кубеев Александр Владимирович, кандидат педагогических наук, доцент, начальник лаборатории инновационных спортивных технологий, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, Россия.

Черкашин Виталий Петрович, доктор педагогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории инновационных спортивных технологий, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, Россия.

Лемешева Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории инновационных спортивных технологий, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, Россия.

Information about the authors

Aleksandr V. Kubeev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Innovative Sports Technologies, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia.

Vitaly P. Cherkashin, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Innovative Sports Technologies, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia.

Yulia S. Lemesheva, Junior Researcher, Laboratory of Innovative Sports Technologies, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.10.2025

The article was submitted 02.10.2025