



Научная статья
УДК 612.2:796.92
DOI: 10.37482/2687-1491-Z205

Кинетика физиологических параметров в ответ на плавно возрастающую скорость бега у бегунов-любителей и профессиональных легкоатлетов

Фанис Азгатович Мавлиев* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-7583>
Виктор Александрович Демидов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9216-0428>
Виктория Викторовна Демидова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8070-2322>

*Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма
(Казань, Россия)

**Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии
(Москва, Россия)

Аннотация. Физическая нагрузка в ходе спортивной деятельности часто колеблется, что влечет за собой постоянные и разнонаправленные изменения физиологических показателей. **Цель** исследования – определить особенности кинетики хронотропных и инотропных эффектов сердечной деятельности в ответ на плавно возрастающую нагрузку у бегунов-любителей и профессиональных легкоатлетов. **Материалы и методы.** Обследованы бегуны-любители ($n = 25$) и спортсмены мужского пола, занимающиеся легкой атлетикой – бег на средние и длинные дистанции ($n = 29$), имеющие спортивный разряд от кандидата в мастера спорта до мастера спорта международного класса. Протокол исследования состоял из теста с плавно возрастающей нагрузкой, выполняемого на беговой дорожке Cosmos quasar (Quasar Med, Германия) до отказа, где первые 2 мин отмечалось плавное увеличение скорости от 0 до 7 км/ч, в дальнейшем скорость плавно возрастала на 1 км/ч каждую минуту. Угол наклона беговой дорожки в ходе всего теста составлял 1° . С использованием алгоритмов, заложенных в программное обеспечение Metalyzer 3В (Cortex, Германия), были рассчитаны показатели гемодинамики – минутный объем крови, ударный объем крови и частота сердечных сокращений. **Результаты.** Повышение ударного объема крови в обеих исследуемых группах прекращается к 4-й минуте (скорость бега 9 км/ч). При этом у любителей данный процесс происходит при более высокой частоте сердечных сокращений (133 ± 24 уд/мин), чем у профессионалов (123 ± 24 уд/мин; $p < 0,05$). Различий кинетики хроно- и инотропных эффектов сердечной в ответ на плавно возрастающую нагрузку у представителей разных групп не наблюдается. Таким образом, нагрузка, использованная в ходе тестирования, приводит к одинаковой кинетике хронотропных и инотропных эффектов сердечной деятельности в ответ на плавно возрастающую физическую нагрузку независимо от тренированности исследуемых.

© Мавлиев Ф. А., Демидов В. А., Демидова В. В., 2024

Ответственный за переписку: Фанис Азгатович Мавлиев, *адрес:* 420010, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35; *e-mail:* fanis16rus@mail.ru

Ключевые слова: хронотропная функция сердца, инотропная функция сердца, спортсмены-профессионалы, любители бега, кинетика физиологических параметров, кинетика ударного объема крови, кинетика частоты сердечных сокращений, плавно возрастающая скорость бега

Для цитирования: Мавлиев, Ф. А. Кинетика физиологических параметров в ответ на плавно возрастающую скорость бега у бегунов-любителей и профессиональных легкоатлетов / Ф. А. Мавлиев, В. А. Демидов, В. В. Демидова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 311-318. – DOI 10.37482/2687-1491-Z205.

Original article

Kinetics of Physiological Parameters in Response to a Gradually Increasing Speed of Running in Amateur and Professional Runners

Fanis A. Mavliev* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-7583>

Viktor A. Demidov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9216-0428>

Viktoriya V. Demidova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8070-2322>

*Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism
(Kazan, Russia)

**National Medical Research Center for Endocrinology
(Moscow, Russia)

Abstract. Physical load often varies in the course of one's sports activity, which entails constant multidirectional changes in physiological parameters. The **purpose** of this paper was to study the kinetics of the chronotropic and inotropic responses of the heart to a gradually increasing load in amateur and professional runners. **Materials and methods.** Male amateur ($n = 25$) and professional long- and middle-distance runners ($n = 29$) with the sports ranks from Candidate for Master of Sport to International Master of Sport were examined. The protocol consisted of an exercise test with a gradually increasing load to failure on a Cosmos Quasar treadmill (Quasar Med, Germany); during the first 2 minutes, the speed gradually increased from 0 to 7 km/h, thereafter, it was gradually increasing by 1 km/h per minute. The treadmill's angle of inclination was 1° throughout the test. Using the Metalyzer 3B software (Cortex, Germany) algorithms, haemodynamic parameters were calculated: cardiac output, stroke volume, and heart rate. **Results.** In both groups, stroke volume stops increasing by the 4th minute (running speed 9 km/h); during this process, amateurs' heart rate is higher (133 ± 24 beats/min) than that of professionals (123 ± 24 beats/min; $p < 0.05$). No differences in the kinetics of chrono- and inotropic responses of the heart to a gradually increasing load were observed between the groups. Thus, the load that was used during the exercise test leads to the same kinetics of chronotropic and inotropic responses of the heart to a gradually increasing physical load irrespective of the subjects' training level.

Keywords: *chronotropic function of the heart, inotropic function of the heart, professional athletes, amateur runners, kinetics of physiological parameters, stroke volume kinetics, heart rate kinetics, gradually increasing speed of running*

Corresponding author: Fanis Mavliev, address: Derevnya Universiady 35, Kazan, 420010, Russia; e-mail: fanis16rus@mail.ru

For citation: Mavliev F.A., Demidov V.A., Demidova V.V. Kinetics of Physiological Parameters in Response to a Gradually Increasing Speed of Running in Amateur and Professional Runners. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 311–318. DOI: 10.37482/2687-1491-Z205

Во время тренировочной деятельности и соревновательного процесса физическая нагрузка часто бывает неоднородной по интенсивности (мощности). Такая неоднородность во многом обусловлена мало зависящими от спортсмена факторами. Например, в игровых видах спорта интенсивность бега подчинена сложившейся в ходе игры ситуации (борьба за мяч в футболе и т. д.), а в циклических – интенсивность мышечной деятельности меняется в зависимости от условий соревнований (ветер, подъемы и спуски в лыжных гонках и т. д.). В связи с этим физиологические системы, обеспечивающие мышечную активность, должны адекватно, с минимально возможной задержкой, гарантировать соблюдение нормы функционирования для нового уровня метаболизма. Особенно это актуально для режимов работы, где основная доля энергообеспечения достигается аэробным путем, как за счет включения кислородтранспортной системы в целом, так и за счет скорости ее развертывания (фаза «вработывание»).

Проблема изменения физиологических параметров в ответ на дозированную физическую нагрузку, а также характер их динамики в настоящее время активно изучаются [1–4]. Чаще данная проблема обозначается как «кинетика», например: кинетика показателей сердечно-сосудистой системы [5], кинетика потребления кислорода [6], кинетика ударного объема (УО) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) [7]. С позиции адаптации такая кинетика исследуемых параметров характерна для краткосрочной адаптации, на которую могут оказывать влияние и особенности локомоции, и специфика тренировочного процесса. В связи с этим следует отметить, что кинетика в ходе «вработывания», когда нагрузка дается дозированно и постоянно, существенно отличается от кинетики, воз-

никающей в случаях непостоянной нагрузки, возрастающей с определенной (регламентированной или нерегламентированной) скоростью. В таких условиях изменение физиологических параметров будет происходить постоянно до момента отказа от нагрузки (или до достижения физиологических пределов). Ограничение кинетики исследуемых параметров в подобных условиях зависит от функциональных возможностей органов и систем (объема циркулирующей крови, уровня гемоглобина, капилляризации мышц, диффузионной способности легких по кислороду и т. д.), а в ряде случаев, когда рост интенсивности работы превысит возможности организма, возникнет функциональный дефицит. Классические представления о кинетике физиологических параметров заключаются в том, что в ответ на нагрузку эти параметры с различной скоростью выходят сначала на квазиустойчивое, а в дальнейшем на устойчивое состояние, на что может потребоваться различное время (5–15 мин). Следовательно, можно рассмотреть саму кинетику как предмет исследования и попытаться определить, является ли она параметром, ассоциированным со спортивной деятельностью. Публикаций на данную тему в ходе анализа литературных источников обнаружено не было.

В связи с многоступенчатым транспортом кислорода к работающим мышцам, в представленной статье будет рассмотрено только центральное звено гемодинамики как часть всей транспортной системы. В качестве объектов исследования будут выступать кинетика хронотропной и инотропной функций сердца. Первая будет рассматриваться через ЧСС, а вторая – через УО.

Можно предположить, что тренировки на выносливость будут способствовать повышению кинетики инотропной функции сердца для

обеспечения более эффективной работы сердца, тогда как нетренированные или менее тренированные лица недостаток объема кровотока будут компенсировать с помощью хронотропного механизма. В основе данных различий могут лежать как определенные общебиологические ограничения, обусловленные степенью вовлечения органов и систем в обеспечение физиологической стабильности, так и некоторые морфофункциональные перестройки, возникшие в ходе длительной тренировки.

Во всех случаях важно наличие адекватной кинетики физиологических систем для достижения лучших условий работы мышц, в частности – аэробной работоспособности, в обеспечении которой важную роль играет сердечно-сосудистая система, а именно УО [5]. Недостаток кинетики, несмотря на повышенные аэробные возможности спортсмена, может быть причиной возникновения условий, приводящих к повышенному образованию продуктов анаэробного метаболизма, накопление которых влечет за собой необходимость снизить интенсивность мышечной работы.

Цель исследования – определить особенности кинетики хронотропных и инотропных эффектов сердечной деятельности в ответ на плавно возрастающую нагрузку у бегунов-любителей и профессиональных спортсменов.

Материалы и методы. Обследованы бегуны мужского пола в количестве 25 чел. (возраст – 23–30 лет), имеющие объем тренировочной нагрузки от 3 до 3,5 ч в неделю в рамках занятий в различных клубах любителей бега, и спортсмены-профессионалы мужского пола в количестве 18 чел. (возраст 19–26 лет), занимающиеся легкой атлетикой, среди них 2 мастера спорта международного класса (МСМК), 2 мастера спорта и 14 кандидатов в мастера спорта (КМС), с объемом тренировочных занятий 6–8 ч в неделю и более. Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации. Участники были проинформированы о ходе тестирования и дали добровольное согласие.

Протокол исследования для всех испытуемых был одинаковым и представлял собой тест с плавно возрастающей нагрузкой, выполняемый на беговой дорожке Cosmos quasar (Quasar Med, Германия) до отказа, где первые 2 мин отмечалось плавное увеличение скорости от 0 до 7 км/ч, в дальнейшем скорость плавно возрастала на 1 км/ч каждую минуту. Угол наклона беговой дорожки в ходе всего теста составлял 1°. Показатели гемодинамики – минутный объем крови (МОК), л; УО, мл; ЧСС, уд/мин, – рассчитывались с помощью алгоритмов, заложенных в программное обеспечение Metalyzer 3В (Cortex, Германия). МОК определялся по формуле $МОК = ПК / (CaO_2 - CvO_2)$, где ПК – потребление кислорода; CaO_2 – содержание кислорода в артериальной крови; CvO_2 – содержание кислорода в венозной крови. Измерение ЧСС проводилось с помощью датчика Polar T 31, данные которого считывались системой Metalyzer 3В. Расчет УО происходил по формуле $УО = МОК / ЧСС$. Кинетика представляла собой прирост показателя в процентах и рассчитывалась в каждый момент измерения: $K_n = 100(X_n - X_{n-1}) / X_0$, где X_n , X_{n-1} , X_0 – значение показателя в момент расчета, в предыдущий момент измерения и в начале исследования соответственно. Использование процентного соотношения вместо абсолютных значений позволило нивелировать разброс исследуемых величин.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе SPSS. Все данные были проверены на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка ($p = 0,05$). Для определения статистически значимых различий использовался t -критерий Стьюдента для связанных и несвязанных выборок с нормальным распределением ($p = 0,05$). Данные представлены в виде средних значений и стандартного отклонения.

Результаты. При рассмотрении УО и ЧСС у профессиональных бегунов и любителей (рис. 1, 2) можно отметить сходный характер кинетики данных параметров. В начале нагрузки, когда скорость увеличивалась на

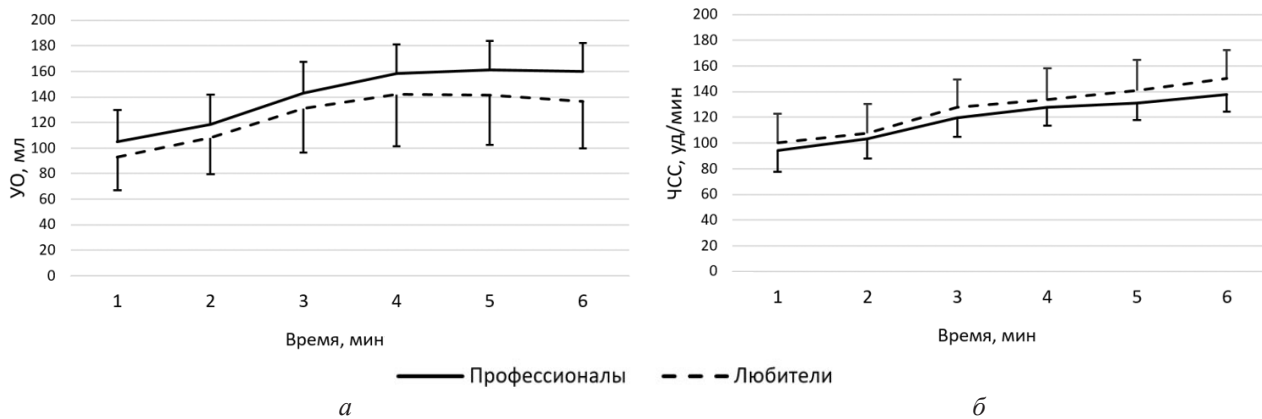


Рис. 1. Динамика показателей УО (а) и ЧСС (б) у бегунов-любителей и профессиональных спортсменов в ходе выполнения теста с плавно возрастающей беговой нагрузкой

Fig. 1. Stroke volume (а) and heart rate (б) dynamics in amateur and professional runners during a treadmill test with a gradually increasing running load

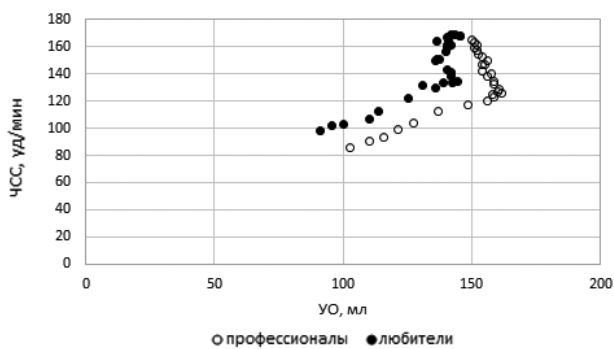


Рис. 2. Соотношение УО и ЧСС у бегунов-любителей и профессиональных спортсменов в ходе выполнения теста с плавно возрастающей беговой нагрузкой

Fig. 2. Correlation between stroke volume and heart rate in amateur and professional runners during a treadmill test with a gradually increasing running load

3,5 км/ч в минуту, рост УО ко 2-й минуте теста у профессионалов составил $25 \pm 10\%$, у любителей – $21 \pm 15\%$ ($p > 0,05$); кинетика ЧСС у профессионалов – $3 \pm 3\%$ и у любителей – $5 \pm 5\%$ ($p > 0,05$). В дальнейшем кинетика УО, в отличие от ЧСС, начинала снижаться в обеих группах одинаково – например, уменьшение прироста УО с 3-й к 4-й минуте у профессионалов равнялось $8,2 \pm 7\%$, у любителей – $9 \pm 15\%$ ($p > 0,05$).

Далее отмечалась стабилизация УО – после 4-й минуты теста (скорость бега 9 км/ч) динамика практически отсутствовала в обеих исследуемых группах. Плато УО наступило на уровне 160 ± 24 мл у профессионалов и 139 ± 48 мл у любителей. При этом у вторых данный процесс происходил при более высокой ЧСС (133 ± 24 уд/мин), чем у профессионалов (123 ± 24 уд/мин; $p < 0,05$). Абсолютные значения УО у профессионалов не всегда были статистически значимо выше, чем у любителей (например, в начале теста – 98 ± 28 мл у любителей и 109 ± 24 мл у профессионалов, $p > 0,05$), тогда как относительные значения всегда значимо отличались ($1,3$ мл/кг у любителей и $1,6$ мл/кг у профессионалов, $p < 0,05$).

Обсуждение. Необходимо отметить, что бег для каждого индивидуума имеет свою метаболическую стоимость, обусловленную особенностями кинематики движения (частотой и длиной шагов, углом постановки ноги и т. д.), морфологии (массой и длиной нижних конечностей), а также физиологии (степенью окисления жиров и углеводов, которые имеют различную кислородную «стоимость»). В связи с этим линейный рост скорости не будет приравниваться к линейному увеличению механической работы, а также к повышению энергозатрат, ко-

торые и являются причиной физиологических сдвигов, фиксируемых в виде изменения ЧСС, УО и т. д. [8, 9].

Исследования показывают, что в ряде случаев в ходе нагрузочного тестирования у спортсменов наблюдается рост УО вплоть до отказа от нагрузки [10]. В нашей выборке этого не отмечалось, возможно, из-за усреднения результатов атлетов уровня КМС и МСМК.

Отсутствие значимых отличий в кинетике УО и ЧСС между группами бегунов-любителей и профессиональных спортсменов можно объяснить двумя причинами. Первая – динамика нагрузки, использованная в данной работе, не доходила до критических уровней у всех обследуемых, независимо от их уровня тренированности. В связи с этим гемодинамические изменения, происходившие в ответ на предъявляемую нагрузку, не являются достаточными для обнаружения различий между профессиональными бегунами и любителями. Также они не раскрывают в полной мере предел физиологических ресурсов сердца для обеспечения адекватного прироста хроно- и инотропных функций. Вторая причина, как мы предполагаем, заключается в том, что долгосрочная адаптация к физическим нагрузкам не меняет особенности кинетики краткосрочной адаптации к плавно возрастающей нагрузке, которая одинакова как у тренированных, так и у нетренированных людей.

В работе косвенно показано проявление наиболее изученного изменения со стороны сердца в ответ на тренировки на выносливость – увеличение полостей камер сердца, реципрокно меняющее хронотропную реакцию и повышающее УО при меньших значениях ЧСС [11].

При этом, согласно исследованиям, УО у тренированных спортсменов выше, чем у нетренированных, при любой ЧСС [12]. Это можно увидеть на *рис. 2* (смещение вправо у профессионалов) при сходной картине краткосрочной реакции. Другими словами, характер кривой зависимости хронотропной и инотропной функций – отражение стратегии краткосрочной адаптации, а смещение этой кривой вправо – результат долгосрочной адаптации. Краткосрочная адаптация выражается в линейной зависимости УО и ЧСС до определенного предела. Но сам предел при условии многократного воздействия смещается вправо, что и доказывается отмеченными различиями (т. е. началом изгиба кривой зависимости УО и ЧСС).

Отсутствие корреляций кинетики УО и ЧСС со временем нагрузки позволяет предположить, что при данном тестовом протоколе кинетика не является лимитирующим фактором.

Использованный протокол с плавно возрастающей скоростью беговой дорожки при тестировании профессиональных спортсменов и бегунов-любителей не позволил обнаружить различия в особенностях кинетики хронотропных и инотропных эффектов сердца у данных групп. Можно предположить, что у бегунов-любителей имеется достаточно ресурсов, выраженных в резерве хронотропной и инотропной функций сердца (т. е. потенциала для их повышения), для обеспечения его работы на предъявленном уровне кинетики физической нагрузки. Необходимы исследования с применением нагрузок с различной скоростью их увеличения у тренированных и нетренированных испытуемых.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Korzeniewski B., Rossiter H.B. Skeletal Muscle Biochemical Origin of Exercise Intensity Domains and Their Relation to Whole-Body $\dot{V}O_2$ Kinetics // *Biosci. Rep.* 2022. Vol. 42, № 8. Art. № BSR20220798. <https://doi.org/10.1042/bsr20220798>
2. Solleiro Pons M., Bernert L., Hume E., Hughes L., Williams Z.J., Burnley M., Ansdell P. No Sex Differences in Oxygen Uptake or Extraction Kinetics in the Moderate or Heavy Exercise Intensity Domains // *J. Appl. Physiol.* 2024. Vol. 136, № 3. P. 472–481. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00429.2023>
3. Stevenson J.D., Kilding A.E., Plews D.J., Maunder E. Prolonged Exercise Shifts Ventilatory Parameters at the Moderate-to-Heavy Intensity Transition // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2023. Vol. 124, № 1. P. 309–315. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05285-2>
4. Tipton M.J., Harper A., Paton J.F.R., Costello J.T. The Human Ventilatory Response to Stress: Rate or Depth? // *J. Physiol.* 2017. Vol. 595, № 17. P. 5729–5752. <https://doi.org/10.1113/jp274596>
5. Perrey S., Scott J., Mourot L., Rouillon J.-D. Cardiovascular and Oxygen Uptake Kinetics During Sequential Heavy Cycling Exercises // *Can. J. Appl. Physiol.* 2003. Vol. 28, № 2. P. 283–298. <https://doi.org/10.1139/h03-022>
6. Rocha J., Gildea N., O'Shea D., Green S., Egaña M. Priming Exercise Accelerates Oxygen Uptake Kinetics During High-Intensity Cycle Exercise in Middle-Aged Individuals with Type 2 Diabetes // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. Art. № 1006993. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1006993>
7. Lepretre P.M., Koralsztejn J.-P., Billat V.L. Effect of Exercise Intensity on Relationship Between $\dot{V}O_{2max}$ and Cardiac Output // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004. Vol. 36, № 8. P. 1357–1363. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000135977.12456.8f>
8. Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Фомиченко Т.Г. Силовая подготовка спортсменов высокого класса в циклических видах спорта с преимущественным проявлением выносливости: моногр. М.: Спорт, 2022. 280 с.
9. Anderson T. Biomechanics and Running Economy // *Sports Med.* 1996. Vol. 22, № 2. P. 76–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00003>
10. Peltonen J.E., Tikkanen H.O., Rusko H.K. Cardiorespiratory Responses to Exercise in Acute Hypoxia, Hyperoxia and Normoxia // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001. Vol. 85, № 1-2. P. 82–88. <https://doi.org/10.1007/s004210100411>
11. Hellsten Y., Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training // *Compr. Physiol.* 2011. Vol. 6, № 1. P. 1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>
12. Vella C.A., Robergs R.A. A Review of the Stroke Volume Response to Upright Exercise in Healthy Subjects // *Br. J. Sports Med.* 2005. Vol. 39, № 4. P. 190–195. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.013037>

References

1. Korzeniewski B., Rossiter H.B. Skeletal Muscle Biochemical Origin of Exercise Intensity Domains and Their Relation to Whole-Body $\dot{V}O_2$ Kinetics. *Biosci. Rep.*, 2022, vol. 42, no. 8. Art. no. BSR20220798. <https://doi.org/10.1042/bsr20220798>
2. Solleiro Pons M., Bernert L., Hume E., Hughes L., Williams Z.J., Burnley M., Ansdell P. No Sex Differences in Oxygen Uptake or Extraction Kinetics in the Moderate or Heavy Exercise Intensity Domains. *J. Appl. Physiol.*, 2024, vol. 136, no. 3, pp. 472–481. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00429.2023>
3. Stevenson J.D., Kilding A.E., Plews D.J., Maunder E. Prolonged Exercise Shifts Ventilatory Parameters at the Moderate-to-Heavy Intensity Transition. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2023, vol. 124, no. 1, pp. 309–315. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05285-2>
4. Tipton M.J., Harper A., Paton J.F.R., Costello J.T. The Human Ventilatory Response to Stress: Rate or Depth? *J. Physiol.*, 2017, vol. 595, no. 17, pp. 5729–5752. <https://doi.org/10.1113/jp274596>
5. Perrey S., Scott J., Mourot L., Rouillon J.-D. Cardiovascular and Oxygen Uptake Kinetics During Sequential Heavy Cycling Exercises. *Can. J. Appl. Physiol.*, 2003, vol. 28, no. 2, pp. 283–298. <https://doi.org/10.1139/h03-022>
6. Rocha J., Gildea N., O'Shea D., Green S., Egaña M. Priming Exercise Accelerates Oxygen Uptake Kinetics During High-Intensity Cycle Exercise in Middle-Aged Individuals with Type 2 Diabetes. *Front. Physiol.*, 2022, vol. 13. Art. no. 1006993. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1006993>

7. Lepretre P.M., Koralsztein J.-P., Billat V.L. Effect of Exercise Intensity on Relationship Between $\dot{V}O_{2\max}$ and Cardiac Output. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2004, vol. 36, no. 8, pp. 1357–1363. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000135977.12456.8f>

8. Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., Fomichenko T.G. *Silovaya podgotovka sportsmenov vysokogo klassa v tsiklicheskih vidakh sporta s preimushchestvennym proyavleniem vynoslivosti* [Strength Training of Elite Athletes in Speed-Strength Sports with Endurance Being Predominant]. Moscow, 2022. 280 p.

9. Anderson T. Biomechanics and Running Economy. *Sports Med.*, 1996, vol. 22, no. 2, pp. 76–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00003>

10. Peltonen J.E., Tikkanen H.O., Rusko H.K. Cardiorespiratory Responses to Exercise in Acute Hypoxia, Hyperoxia and Normoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2001, vol. 85, no. 1-2, pp. 82–88. <https://doi.org/10.1007/s004210100411>

11. Hellsten Y., Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Compr. Physiol.*, 2011, vol. 6, no. 1, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>

12. Vella C.A., Robergs R.A. A Review of the Stroke Volume Response to Upright Exercise in Healthy Subjects. *Br. J. Sports Med.*, 2005, vol. 39, no. 4, pp. 190–195. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.013037>

Поступила в редакцию 10.10.2023 / Одобрена после рецензирования 12.01.2024 / Принята к публикации 16.01.2024.

Submitted 10 October 2023 / Approved after reviewing 12 January 2024 / Accepted for publication 16 January 2024.