Дата публикации: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_11
УДК 612.22

Publication date: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_11
UDC 612.22

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗООБМЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ДЫХАТЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ И НАГРУЗКИ ПОВЫШАЮЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ

Р.Р. Хайруллин[1], Д.Е. Елистратов[2], Н.Ф. Ишмухаметова[3], С.Н. Ильин[3]
[1]ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия
[3]ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия

Аннотация. Обеспечение организма кислородом происходит благодаря насосной функции сердца и дыхательной системы. Помимо обеспечения организма кислородом, дыхательная система также выполняет функцию выделения углекислого газа и газообразных продуктов метаболизма. В статье представлены показатели газообмена мужчин-спортсменов от 18 до 35 лет в зависимости от дыхательных циклов и нагрузки повышающейся мощности. Испытуемые были распределены на три группы в зависимости от типов дыхательных циклов (брадикардический, нормокардический, тахикардический). При выполнении нагрузки повышающейся мощности от 50 Вт до 200 Вт наибольшие показатели потребления кислорода и выделения углекислого газа отмечались в группе спортсменов с тахикардическим дыхательным циклом, наименьшие – в группе с брадикардическим дыхательным циклом.

Ключевые слова: газообмен, повышающаяся нагрузка, дыхательный цикл, потребление кислорода, выделение углекислого газа.

DYNAMICS OF GAS EXCHANGE INDICATORS DEPENDING ON RESPIRATORY CYCLES AND INCREASING LOAD

R.R. Khajrullin[1], D.E. Elistratov[2], N.F. Ishmukhametova[3], S.N. Il'in[3]
[1]Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia
[2]Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
[3]Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia

Annotation. Oxygen supply occurs due to the heart pumping function and the respiratory system. Aside from oxygen supply, the other main function of the respiratory system is the release of carbon dioxide and gaseous products of metabolism. The article presents the indicators of gas exchange in male athletes aged 18 to 35 years, depending on respiratory cycles and increasing load. The subjects were divided into three groups depending on the respiratory cycle types (bradycardic, normocardic, tachycardic). When performing loads increasing from 50 W to 200 W, the highest rates of oxygen consumption and carbon dioxide release were identified in the group of athletes with the tachycardic type, lowest rates – in a group with the bradycardic type.

Keywords: gas exchange, increasing load, respiratory cycle, oxygen consumption, carbon dioxide release.

Введение. Обеспечение организма кислородом происходит благодаря насосной функции сердца и дыхательной системы. В своих исследованиях авторы изучали дыхательную систему, которая представляет собой совокупность органов и тканей, обеспечивающих обмен газов между кровью и окружающей средой в организме человека. Помимо обеспечения организма кислородом, дыхательная система также выполняет функцию выделения углекислого газа и газообразных продуктов метаболизма [1].

Во время выполнения различных двигательных действий происходит увеличение потребления кислорода организмом из-за

повышения энерготрат, что стимулирует внешнее дыхание [2-4]. Исходя из этого, функция дыхания регулируется интенсивностью потребления кислорода и выделением углекислого газа.

В своих работах Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р. и др. изучали изменение процессов газообмена во время физических нагрузок в зависимости от типов адаптации кардиореспираторной системы и типологических особенностей кровообращения [5-8]. В настоящем исследовании рассматриваются показатели потребления кислорода и выделения углекислого газа в зависимости от типов дыхательных циклов и в результате действия нагрузки повышающейся мощности.

Цель исследования: выявление изменений показателей потребления кислорода и выделения углекислого газа в зависимости от типов дыхательных циклов и мощности выполняемой нагрузки.

Методы и организация исследования. В проведенных нами исследованиях приняли участие 59 мужчин-спортсменов в возрастном диапазоне от 18 до 35 лет. Испытуемые были разделены на три группы в зависимости от типов дыхательного цикла: брадикардический (n=23), нормокардический (n=27) и тахикардический (n=9). За основу распределения по типам брался показатель дыхательного цикла, который рассчитывали по следующей формуле:

$$ДЦ=\frac{ЧСС}{ЧД},$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, ЧД – частота дыхания, ДЦ – дыхательный цикл.

Для определения групп по однородным признакам мы рассматривали значения результатов исследования, коэффициент вариации (КВ) которых не превышал 10% [9].

В качестве физической нагрузки применяли велоэргометр. Мощность нагрузки варьировалась от 50 до 200 Вт. Продолжительность работы при каждой нагрузке составляла 4 минуты.

В данной работе мы рассматривали показатели потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа (VCO_2). Для снятия показателей газообмена использовали парамагнитный анализатор кислорода АК-5 и газоанализатор ГАУ-3 [5, 10].

Результаты исследования и их обсуждение. По проведенным исследованиям из таблицы 1 мы видим, что в исходном состоянии показатели VO_2 в группах спортсменов с различными типами дыхательного цикла имели достоверные различия. Они проявлялись между брадикардическим (209,80± 11,18 мл/мин) и остальными двумя типами дыхательного цикла – 260,16±19,29 мл/мин, 269,16±23,78 мл/мин. При нагрузке повышающейся мощности происходит достоверное повышение показателей VO_2 во всех трех типах дыхательного цикла. Повышение потребления кислорода во многом зависит от мощности выполняемой работы [11-12].

При сравнении показателей потребления кислорода при нагрузке 50 Вт обнаружено, что достоверные различия проявлялись между брадикардическим и нормокардическим типами, которые составили 776,37±37,23 и 901,97±35,37 мл/мин соответственно. Наименьшие показатели VO_2 были зафиксированы у спортсменов с брадикардическим типом. На поддержание работоспособности в течение длительного времени влияет меньшее потребление кислорода от индивидуального максимума [2, 4].

При велоэргометрической нагрузке в 100 и 150 Вт достоверных различий между группами не наблюдалось. Наименьшие показатели оставались у спортсменов с брадикардическим типом, а наибольшие – у спортсменов с тахикардическим типом.

При анализе изменений показателей при нагрузке в 200 Вт были обнаружены достоверные различия между группами спортсменов с брадикардическим и нормокардическим типами – 2758,52±112,74 и 3102,11±115,84 мл/мин соответственно. Высокие показатели потребления кислорода отмечались в группе спортсменов с тахикардическим типом – 3115,27±200,61 мл/мин.

Таблица 1

Результаты анализа показателей потребления кислорода (мл/мин) при повышающейся нагрузке у групп с различными типами дыхательного цикла

Условия снятия показателей		Исходное состояние	50 Вт	100 Вт	150 Вт	200 Вт
Типы дыхательного цикла	Брадикардический n=23	209,80± 11,18	776,37± 37,23 ^{o}	1386,61± 61,67 $^{\Delta}$	2074,96± 80,56 ^{x}	2758,52± 112,74 $^{\square}$
	Нормокардический n=27	260,16± 19,29 *	901,97± 35,37 *^{o}	1419,26± 55,18 $^{\Delta}$	2217,91± 80,66 ^{x}	3102,11± 115,84 *$^{\square}$
	Тахикардический n=9	269,16± 23,78 $^{+}$	980,31± 142,90 ^{o}	1471,53± 159,55 $^{\Delta}$	2242,41± 163,41^{x}	3115,27± 200,61 $^{\square}$

Примечание: * – достоверность различий между брадикардическим и нормокардическим дыхательными циклами; + – достоверность различий брадикардическим и тахикардическим дыхательными циклами; ^ – достоверность различий между нормокардическим и тахикардическим дыхательными циклами; ^{o} – достоверные различия с исходным состоянием и 50 Вт; $^{\Delta}$ – достоверные различия между нагрузками 50 Вт и 100 Вт; ^{x} – достоверные различия между нагрузками 100 Вт и 150 Вт; $^{\square}$ – достоверные различия между нагрузками 150 Вт и 200 Вт

Таблица 2

Анализ показателей выделения углекислого газа (мл/мин) при повышающейся нагрузке у групп с различными типами дыхательного цикла

Условия снятия показателей		Исходное состояние	50 Вт	100 Вт	150 Вт	200 Вт
Типы дыхательного цикла	Брадикардический n=23	170,59± 9,20	559,59± 30,90 ^{o}	997,90± 42,96 $^{\Delta}$	1491,35± 67,33 ^{x}	2036,00± 115,53 $^{\square}$
	Нормокардический n=27	198,77± 16,25	602,89± 24,89 ^{o}	998,02± 43,63 $^{\Delta}$	1605,30± 91,80 ^{x}	2219,18± 99,86 $^{\square}$
	Тахикардический n=9	218,50± 37,96	675,68± 131,95 ^{o}	1003,11± 137,20	1574,80± 163,76 ^{x}	2235,68± 204,45 $^{\square}$

Примечание: * – достоверность различий между брадикардическим и нормокардическим типами; + – достоверность различий брадикардическим и тахикардическим типами; ^ – достоверность различий между нормокардическим и тахикардическим типами; ^{o} – достоверные различия с исходным состоянием и 50 Вт; $^{\Delta}$ – достоверные различия между нагрузками 50 Вт и 100 Вт; ^{x} – достоверные различия между нагрузками 100 Вт и 150 Вт; $^{\square}$ – достоверные различия между нагрузками 150 Вт и 200 Вт

Результаты анализа показателей VCO_2 в группах спортсменов с различными типами дыхательного цикла при нагрузке повышающейся мощности представлены в таблице 2. Из нее видно, что в исходном состоянии у испытуемых с тахикардическим типом отмечались наибольшие показатели VCO_2 (218,50±37,96 мл/мин), а наименьшие – у испытуемых с брадикардическим типом (170,59±9,20 мл/мин). Более низкие показатели VCO_2 в порции выдыхаемого воздуха в группе спортсменов с брадикардическим

дыхательным циклом свидетельствуют о более высокой чувствительности дыхательного центра к CO_2. При этом достоверных различий между группами не наблюдалось.

По мере повышения мощности нагрузки происходит достоверное увеличение показателей выделения углекислого газа во всех группах испытуемых. Исключением является нагрузка в 100 Вт в группе спортсменов с тахикардическим типом. При нагрузке в 50 Вт меньшие значения VCO_2 были зафиксированы в группе спортсменов с брадикардическим типом (559,59±30,90 мл/мин), а наибольшие – в группе с тахикардическим типом (675,68±131,95 мл/мин). На протяжении повышающейся мощности от 50 до 200 Вт между типами дыхательного цикла достоверных различий не наблюдалось.

При нагрузке в 100 Вт практически во всех группах показатели выделения углекислого газа одинаковы. В цифровых значениях они составили 997,90±42,96, 998,02±43,63 и 1003,11±137,20 мл/мин соответственно. При нагрузке мощностью в 150 Вт наибольший прирост на 607 мл/мин произошел в группе спортсменов с нормокардическим типом и составил 1605,30±91,80 мл/мин. В свою очередь наименьшие значения отмечались в группе испытуемых с брадикардическим типом (1491,35±67,33 мл/мин).

Наибольших значений (2235,68± 204,45 мл/мин) показатели выделения углекислого газа достигли при нагрузке в 200 Вт в группе спортсменов с тахикардическим типом. Наименьшие значения по мере повышения нагрузки отмечались в группе с брадикардическим типом и составляли 2036,00±115,53 мл/мин.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что начиная с исходного состояния и на протяжении ступенчато повышающейся нагрузки значения изучаемых показателей достоверно увеличивались. Значения показателей VO_2 при тахикардическом дыхательном типе всегда оставались наибольшими, а при брадикардическом типе – наименьшими. Вероятнее всего, спортсмены, относящиеся к брадикардическому типу дыхательного цикла, могут поддерживать высокий уровень работоспособности в течение продолжительного времени. Высокие показатели VCO_2 наблюдались в исходном состоянии, при нагрузках 50 Вт и 200 Вт в группе спортсменов с тахикардическим типом, а при 150 Вт – в группе испытуемых с нормокардическим типом. Наименьшие показатели выделения углекислого газа отмечались в группе спортсменов с брадикардическим типом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреслав, И. С. Регуляция дыхания / И. С. Бреслав, В. Д. Глебовский // Л.: Наука, 1981. – 280 с.
2. The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity interminent-exercise training / S. Boutcher, Y. Park, S. Dunn, Y. Boutcher // Journal of Sports Sciences. – 2013. – № 31(9). – pp. 1024-1029. DOI: 10.1080/02640414.2012.762984.
3. Bye, P .T. Respiratory factors limiting exercise / P. T. Bye, G. A. Farkas, Ch. Roussos // Ann. Rev. Physiol. – 1983. – Vol. 45. – pp. 439-451.
4. Wasserman, K. Respiratory control during exercise / K. Wasserman, B. J. Whipp, R. Cassaburi // Handbook of physiology: Sect.3. The respiration system. Bethesda (Maryland). – 1986. – Vol. 9. – pp. 595-619.
5. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов к двигательной деятельности / Ванюшин Ю. С., Хайруллин Р. Р., Елистратов Д. Е. [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 2. – С. 30-32.
6. Ванюшин, Ю. С. Кардиореспираторная система как индикатор функционального состояния организма спортсменов / Ю. С. Ванюшин, Р. Р. Хайруллин // Теория и практика физической культуры. – 2015. – №7. – С.11-14.
7. Ванюшин, Ю. С. Значение коэффициента комплексной оценки кардиореспираторной системы для диагностики функционального состояния спортсменов / Ю. С. Ванюшин, Р. Р. Хайруллин, Д. Е. Елистратов // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 5. – С. 59-61.

8. Динамика показателей внешнего дыхания в зависимости от дыхательных циклов и нагрузки повышающейся мощности / Р. Хайруллин, Д. Хайруллин, Н. Ишмухаметова, С. Ильин // Российский журнал физического воспитания и спорта. – 2021. – Т. 16. – № 4. – С. 143-147.
9. Оганов, Р.Г. Дифференцированный подход к разработке физиологических нормативов и его значение для профилактической кардиологии / Оганов Р. Г., Бритов А. Н., Гундаров И. А. [и др.] // Кардиология. – 1984. – Т. 24. – № 4. – С. 52.
10.Bassett, Jr. D. R. Limiting factors for maximum oxygen and determinants of endurance performance / Jr. D. R. Bassett, E. T. Howley // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2000. – № 32(1). – pp. 70-84.
11.Bosquet, L. Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? / L. Bosquet, F-X. Gamelin, S. Berthoin // European Journal of Applied Physiology. – 2007. – № 100(3). – pp. 363-369.
12.Weiner, D. Normal hemodynamic, ventilatory and metabolic response to exercise / D. Weiner // Arch. Intern. Med. – 1983. – Vol. 143. – pp. 2173-2175.

REFERENCES

1. Breslav I.S. Glebovskij V.D. Regulation of respiration. Saint Petersburg: Nauka, 1981. 280 p. (in Russ.)
2. Boutcher S.H., Park Y., Dunn S.L., Boutcher Y.N. The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity interminent-exercise training. *Journal of Sports Sciences*, 2013, no. 31(9), pp. 1024-1029. DOI: 10.1080/02640414.2012.762984.
3. Bye P.T., Farkas G.A., Roussos Ch. Respiratory factors limiting exercise. *Ann. Rev. Physiol,* 1983, vol. 45, pp. 439-451.
4. Wasserman K. Whipp B.J., Cassaburi R. Respiratory control during exercise. Handbook of physiology: Sect.3. The respiration system. Bethesda (Maryland), 1986, vol. 9, pp. 595-619.
5. Vanyushin Yu.S., Khajrullin R.R., Elistratov D.E., Fedorov N.A., Ishmukhametova N.F. Adaptation of athletes' cardiorespiratory system to physical loads. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2020, no. 2, pp. 30-32. (in Russ.)
6. Vanyushin Yu.S., Khairullin R.R. Cardiorespiratory system as an indicator of the functional state of the athletes' body. *Theory and Practice of Physical Culture,* 2015, no. 7, pp.11-14. (in Russ.)
7. Vanyushin Yu.S., Khajrullin R.R., Elistratov D.E. The value of the coefficient of comrehensive assessment of the cardiorespiratory system for the diagnosis of the functional state of athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2017, no. 5, pp. 59-61. (in Russ.)
8. Khajrullin R.R. Khajrullin D.R., Ishmukhametova N.F., Il'in S.N. Dynamics of external respiration depending on respiratory cycles and the increasing power load. *Russian Journal of Physical Education and Sport*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 143-147. (in Russ.)
9. Oganov R.G., Britov A.N., Gundarov I.A. et al. Differentiated approach to the development of physiological standards and its significance for preventive cardiology. *Kardiologiia*, 1984, vol. 24, no. 4, p. 52. (in Russ.)
10.Bassett Jr. D.R., Howley E.T. Limiting factors for maximum oxygen and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000, no. 32(1), pp. 70-84.
11.Bosquet L. Gamelin F-X., Berthoin S. Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European Journal of Applied Physiology,* 2007, no. 100(3), pp. 363-369.
12.Weiner D. Normal hemodynamic, ventilatory and metabolic response to exercise. *Arch. Intern. Med*, 1983, vol. 143, pp. 2173-2175.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ранис Рафакатович Хайруллин – кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики волейбола и баскетбола, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: hai_ranis81@mail.ru.
Дмитрий Евгеньевич Елистратов – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Физическое воспитание», ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Казань, e-mail: Dima-e-87@mail.ru.
Найля Фаритовна Ишмухаметова – старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, e-mail: inellyaf@mail.ru.

Сергей Николаевич Ильин – старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, e-mail: silin8209@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Ranis Rafakatovich Khajrullin – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Volleyball and Basketball, Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: hai_ranis81@mail.ru.
Dmitrij Evgen'evich Elistratov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Physical Education Department, Kazan State Agrarian University, Kazan, e-mail: Dima-e-87@mail.ru.
Najlya Faritovna Ishmykhametova – Senior Lecturer of the Department of Physical Education and Sports, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, e-mail: inellyaf@mail.ru.
Sergej Nikolaevich Il'in – Senior Lecturer of the Department of Physical Education and Sports, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, e-mail: silin8209@gmail.com.

Для цитирования: Динамика показателей газообмена в зависимости от типа дыхательных циклов и нагрузки повышающейся мощности / Р.Р. Хайруллин, Д.Е. Елистратов, Н.Ф. Ишмухаметова, С.Н. Ильин // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_11

For citation: Khajrullin R.R., Elistratov D.E., Ishmukhametova N.F., Il'in S.N. Dynamics of gas exchange indicators depending on respiratory cycles and increasing load. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_07_01_11