УДК 612.176.4:796+612.227:796 DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-169-175

Функциональное взаимодействие сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках

Ванюшин Ю.С.[1]*, Федоров Н.А.[1], Кузнецова Н.О.[2]
[1]Казанский государственный аграрный университет
г. Казань, Россия
*ORCID: 0000-0003-2667-6124, kaf.fv.kgau@mail.ru**
ORCID: 0000-0002-6515-0451, nik-f-84@mail.ru
[2]Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
г. Уфа, Россия
ORCID: 0000-0003-3995-4269, kaf.fv.kgau@mail.ru

Аннотация: Современные научные исследования в области физиологии все в большей степени ориентируются на изучение сложных сигналов, которые формируются в результате взаимодействия между показателями одной функциональной системы или между различными физиологическими системами. Такая взаимосвязь приводит к возникновению процессов, лежащих в основе многообразных физиологических функций организма. Это способствует целостности организма, обеспечивая формирование эффективной адаптационной реакции на воздействие внешних стимулов, к числу которых относится физическая нагрузка динамического и статического характера. Одной из таких функциональных систем является кардиореспираторная, сигналы которой формируются в результате взаимодействия между многочисленными элементами сердечно-сосудистой и дыхательной систем. ***Материалы.*** Изучение функционального взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках и выявление доминирующих факторов при адаптации к этим нагрузкам. ***Методы исследования.*** Анализ и обобщение научной литературы, регистрирация объемной и дифференциальной реограмм, электрокардиограммы, определение показателей внешнего дыхания и газообмена при физической нагрузке повышающейся мощности на велоэргометре, методы математической статистики. ***Результаты.*** Комплексность наших исследований способствовала выявлению компенсаторных реакций сердечного выброса при активном изменении положения тела. В результате выделены хронотропная, инотропная, сосудистая и дыхательная компенсаторные реакции сердечного выброса. Одним из путей повышения спортивных результатов, особенно в видах спорта, связанных с развитием выносливости, является расширение функциональных возможностей кардиореспираторной системы, во многом зависящее от возраста занимающихся. ***Заключение.*** Процессы адаптации и изменение функционального взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках зависит от разной физиологической направленности этих нагрузок. Выявленные физиологические особенности обеспечения организма кислородом позволяют целенаправленно и более обоснованно решать задачи по воспитанию и развитию двигательных качеств в учебно-тренировочном процессе спортсменов.
Ключевые слова: адаптация, кардиореспираторная система, нагрузка, функциональная система, кровообращение, дыхание.

Для цитирования: Ванюшин Ю.С., Федоров Н.А., Кузнецова Н.О. Функциональное взаимодействие сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках. Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2020; 15(1): 169-175. DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-169-175

Functional interaction between cardiovascular and respiratory systems during testing loads

Yuriy S. Vanyushin[1]*, Nikolay A. Fedorov[1], Natalya O. Kuznetsova[2]
[1]Kazan State Agrarian University
Kazan, Russia
*ORCID: 0000-0003-2667-6124, kaf.fv.kgau@mail.ru**

ORCID: 0000-0002-6515-0451, nik-f-84@mail.ru
²M. Akmulla State Pedagogical University
Ufa, Russia
ORCID: 0000-0003-3995-4269, kaf.fv.kgau@mail.ru

Abstract: Modern scientific research works in the sphere of physiology are mostly oriented towards studying difficult signals. They are formed as a result of interaction between the indices of one functional system or between different physiological systems. Such interconnection leads to the processes, which form the base for varied physiological functions of an organism. It provides organism integrity, an effective adaptive reaction formation to external stimuli. They include physical load of dynamic and static character. One of such systems is cardiorespiratory system, the signals of which are formed as a result of interaction between varied elements of cardiovascular and respiratory systems. ***Materials.*** Functional interaction of cardiovascular and respiratory systems study during testing loads and dominating factors revelation during adaptation to these loads. ***Research methods.*** Information sources analysis and summarizing, volume and differential rheograms registration, electrocardiograms, external respiration and gas exchange indices determination during physical load of the increasing power at bicycle ergometer, methods of mathematical statistics. ***Results.*** The complex character of our research works provided compensatory reactions of cardiac output revelation during active body position change. As a result we revealed chronotropic, inotropic, vascular and respiratory compensatory reactions of cardiac output. One of the ways of sports results improvement, especially in the kinds of sport, connected with endurance development, is functional abilities of cardiorespiratory system broadening. It depends on the age of the athletes. ***Conclusion.*** The processes of adaptation and functional interaction change between cardiovascular and respiratory systems during testing loads depends on different physiological orientation of these loads. The revealed physiological peculiarities of oxygen provision help to solve the problems connected with motor qualities upbringing and development during educational-training process of athletes.
Keywords: adaptation, cardiorespiratory system, load, functional system, blood circulation, respiration.

For citation: Yuriy S. Vanyushin*, Nikolay A. Fedorov, Natalya O. Kuznetsova. Functional interaction between cardiovascular and respiratory systems during testing loads. Russian journal of Physical Education and Sport. 2020; 15(1): 169-175. DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-169-175

ВВЕДЕНИЕ

Сокращения:

частота дыхания – Ч.Д., дыхательный обьем – Д.О., артерио-венозная разница по кислороду - АВРO_2, минутный объем дыхания – МОД, максимальный объем кислорода – МОК.

Современные научные исследования в области физиологии все в большей степени ориентируются на изучение сложных сигналов, которые формируются в результате взаимодействия между показателями одной функциональной системы или между различными физиологическими системами [1, 5, 10].

Такая взаимосвязь приводит к возникновению процессов, лежащих в основе многообразных физиологических функций организма. Это способствует целостности организма, обеспечивая формирование эффективной адаптационной реакции на воздействие внешних стимулов, к числу которых относится физическая нагрузка динамического и статического характера.

Одной из таких функциональных систем является кардиореспираторная, сигналы которой формируются в результате взаимодействия между многочисленными элементами сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Поэтому изучение кардиореспираторной системы во всех ее проявлениях остается важной проблемой физиологии, несмотря на то, что с момента опубликования первой работы прошло более полувека (E.D. Adrian et al, 1932). Кардиореспираторная система – это результат длительного взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем [3, 7, 11,12], когда центральные взаимосвязи этих систем осуществляются самостоятельной системой

нейронов, реагирующей на сигналы с рецепторов растяжения легких, сосудов и сердца. Основная роль этих нейронов заключается в объединении задач дыхания и кровообращения в единую функцию, обеспечивающую поддержание постоянства жестко регулируемых констант организма, в частности, осуществляющую газообмен организма [2].

Целью исследования явилось изучение функционального взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках разной физиологической направленности и мощности, а также выявление доминирующих факторов при адаптации к этим нагрузкам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в лаборатории функциональной диагностики кафедры «Физическое воспитание» Казанского ГАУ. В исследованиях приняли участие 105 человек мужского пола в возрасте от 18 до 35 лет. При этом синхронно регистрировались объемная и дифференциальная реограммы, электрокардиограмма, определялись показатели внешнего дыхания и газообмена при физической нагрузке повышающейся мощности на велоэргометре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров, от которого во многом зависит обеспечение организма кислородом, является МОК. Считается, что потребность тканей в кислороде является главным фактором, контролирующим и регулирующим величину сердечного выброса. В физиологии хорошо известен факт уменьшения МОК при активном переходе испытуемого из положения лежа в положение стоя. В этом случае рефлекторно повышается частота сердцебиений и периферическое сопротивление сосудов. Однако они не всегда способны компенсировать значительные изменения в ударном выбросе.

Дыхательная система тоже принимает участие в компенсации МОК при переходе испытуемого из положения лежа в положение сидя и стоя. На это указывает рост МОД и глубины дыхания, которые возрастают в положении сидя и стоя. Кроме того, создаются условия для повышенного использования кислорода тканями организма. Об этом говорят величины $АВРО_2$, которые увеличивались на достоверную величину в положении сидя и стоя по сравнению с горизонтальным положением тела. Такой сдвиг в газообмене является компенсаторной реакцией при снижении сердечного выброса.

Комплексность наших исследований способствовала выявлению компенсаторных реакций сердечного выброса при активном изменении положения тела. В результате выделены хронотропная, инотропная, сосудистая и дыхательная компенсаторные реакции сердечного выброса.

Согласно современным представлениям, обеспечение организма кислородом осуществляется степенью развития системы кислородного регулирования и оптимальным взаимодействием различных звеньев данной системы, состоящей из внешнего дыхания, кровообращения и газообмена. Поэтому одним из путей повышения спортивных результатов, особенно в видах спорта, связанных с развитием выносливости, является расширение функциональных возможностей кардиореспираторной системы. Это, как показали наши данные, во многом зависит от возраста занимающихся спортом.

Наиболее эффективным механизмом в обеспечении организма кислородом принято считать увеличение сердечного выброса. Однако результаты, полученные нами [4, 8, 9], свидетельствуют о снижении прироста МОК при переходе от одной нагрузки к другой. В связи с этим можно предположить существование других механизмов, направленных на удовлетворение кислородного запроса организма при мышечной деятельности. Одним из них является внешнее дыхание, причисленное рядом исследователей [6] к факторам, лимитирующим возможность достижения высоких спортивных результатов.

На уровне системы дыхания адаптация характеризуется максимальной мобилизацией внешнего дыхания, которая проявляется ростом легочной вентиляции вследствие увеличения

частоты и глубины дыхания. Наибольшие величины легочной вентиляции нами были зафиксированы в группах подростков 15-16 лет и взрослых спортсменов в возрасте 36-60 лет (таблица 1). По-видимому, механизм, связанный с увеличением внешнего дыхания во время выполнения нагрузки повышающейся мощности на велоэргометре в этих группах, является ведущим, и физическая работоспособность обеспечивается значительным напряжением кардиореспираторной системы. В группе подростков это происходит за счет увеличения частоты дыхания, а в группе взрослых спортсменов – в результате увеличения глубины дыхания. Данный факт объясним с точки зрения возрастных особенностей развития организма, так как к 16 годам завершается морфофункциональное формирование системы дыхания, и направленность учебно-тренировочного процесса в этом возрасте должна быть ориентирована на развитие потенциала системы дыхания, что будет способствовать повышению аэробной производительности организма.

Таблица 1 – Показатели внешнего дыхания в группах подростков (1), юношей (2) и взрослых спортсменов (3, 4) при нагрузке повышающейся мощности

Нагрузка	Показатели	Группы спортсменов			
		1	2	3	4
Исходное состояние	ЧД, дых/мин	18,09±1,28	17,04±0,59	15,12±0,48	13,75±0,68 vx·
	ДО, мл	0,56±0,05	0,61±0,03	0,64±0,04	0,76±0,04 vx·
	МОД, л/мин	9,73±0,81	10,24±0,40	9,59±0,61	10,15±0,47
50 Вт	ЧД, дых/мин	22,81±1,82	20,80±0,86	19,04±0,82	19,42±0,51
	ДО, мл	1,17±0,08	1,12±0,04	1,24±0,04	1,41±0,05 vx·
	МОД, л/мин	25,76±1,74	22,85±0,87	23,41±1,00	27,25±1,01 x·
100 Вт	ЧД, дых/мин	26,09±2,02	22,35±0,99	20,02±0,75*	19,04±1,17 vx
	ДО, мл	1,58±0,09	1,56±0,06	1,67±0,05	1,93±0,07 vx·
	МОД, л/мин	40,35±3,04	33,11±1,27+	33,50±1,44*	37,87±0,89 x·
150 Вт	ЧД, дых/мин	30,19±1,78	25,00±0,94+	21,47±1,00*o	23,83±0,89 v
	ДО, мл	1,83±0,10	1,88±0,07	2,20±0,08*o	2,42±0,11 vx
	МОД, л/мин	54,15±3,21	45,96±1,28+	46,49±1,60*	56,55±2,15 x·
200 Вт	ЧД, дых/мин	33,00±2,28	27,46±0,85+	24,35±1,13*o	27,78±1,08 v·
	ДО, мл	2,13±0,11	2,20±0,07	2,49±0,09*o	2,77±0,12 vx
	МОД, л/мин	68,57±3,84	59,34±1,48+	59,55±1,79*	75,65±3,26 x·

Примечание:

\+ - статистическая достоверность различий между группами 1 и 2
* - статистическая достоверность различий между группами 1 и 3
v - статистическая достоверность различий между группами 1 и 4
o - статистическая достоверность различий между группами 2 и 3
x - статистическая достоверность различий между группами 2 и 4
• - статистическая достоверность различий между группами 3 и 4

Необходимо отметить, что полученные нами результаты легочной вентиляции не являются критерием достаточно высокого уровня тренированности, так как при этом возрастает кислородная и энергетическая стоимость дыхания. В этих условиях адаптация к физическим нагрузкам лучше всего реализуется путем активации и повышения эффективности системы транспорта и утилизации кислорода. Об этом свидетельствуют достоверно большие величины индекса кровообращения и сердечного индекса в группе юношей в возрасте 17-21 лет (таблица 2). Кроме того, возрастают величины $КИО_2$ в группе взрослых спортсменов в возрасте 22-35 лет при одинаковом потреблении кислорода во время выполнения ими нагрузки повышающейся мощности. По-видимому, с ростом массы митохондрий в скелетных мышцах достигается значительное увеличение аэробной мощности организма и повышается способность дыхательного центра длительно поддерживать возбуждение на предельном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, процессы адаптации и изменение функционального взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках зависят от разной физиологической направленности этих нагрузок. Выявленные физиологические особенности обеспечения организма кислородом позволяют целенаправленно и более обоснованно решать задачи по воспитанию и развитию двигательных качеств в учебно-тренировочном процессе спортсменов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Руженкова И.В., Старшинов Ю.П. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы юношеского организма. *Физиология человека*. 1997; 23(1): 93-104.

2. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. *Проблемы адаптации и учение о здоровье*. М.: Изд-во РУДН. 2006: 284.

3. Анохин П.К. *Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем*. М.: Медицина. 1980.

4. Ванюшин Ю.С., Ситдиков Ф.Г. Адаптация сердечной деятельности подростков к нагрузке повышающейся мощности. *Физиология человека*. 2001; 27(2): 91-97.

5. Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р., Елистратов Д.Е. *Морфофункциональные особенности растущего организма*. Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета. 2019: 120.

6. Кучкин С.Н. Резервы дыхательной системы и аэробная производительность организма : Автореф. дис. … .докт. мед. Наук. Казань. 1986: 48.

7. Судаков К.В. *Физиология. Основы и функциональные системы: курс лекций*. М.: Медицина. 2000: 784.

8. Vanyshin Y.S., Khairullin R.R., Elistratov D.E., Tazieva Z.N. Value of Testing Loads in Determining the Functional State of the Athletes Body. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 808-810.

9. Vanyshin Y.S., Khairullin R.R., Elistratov D.E., Fedorov N.A. Cardiac Output and its Components Among Young Athletes During Functional Loads. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 756-758.

10. Brennan M., Palaniswami M., Kamen P. Poincare plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2002; 238(5): H1873-H1886.

11. Taylor E.W., Jordan D., Coote J.H. Central Control of the Cardiovascular and Respiratory Systems and Their Interactions in Vertebrates. *Physiological Reviews*. 1999; 79(3): 855-916.

12. Федоров Н.А., Ванюшин Ю.С., Елистратов Д.Е. Влияние типологических особенностей кровообращения на показатели кардиореспираторной системы спортсменов при нагрузке повышающейся мощности. *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*. 2018; 13(3): 199-206. DOI: 10.14526/2070-4798-2018-13-3-199-206.

Таблица 2 – Изменение индекса кровообращения (ИК, мл/кг), сердечного индекса (СИ, мл/мин/м²), газообмена ($КИО_2$ мл/л) в группах подростков (1), юношей (2) и взрослых спортсменов (3, 4) при нагрузке повышающейся мощности

Нагрузка	Показатели	Группы спортсменов			
		1	2	3	4
Исходное состояние	ИК, мл/кг	90,15±7,32	74,50±3,42	72,97±2,38*	75,36±4,59
	СИ, мл/мин/м²	3,01±0,22	2,78±0,13	2,78±0,09	2,84±0,15
	$КИО_2$ мл/л;	21,36±1,98	22,73±0,82	23,71±1,15	22,44±0,61
50 Вт	ИК, мл/кг	159,78±12,37	148,08±7,97	137,69±6,15	128,78±7,48^{v}
	СИ, мл/мин/м²	5,34±0,38	5,41±0,29	5,24±0,23	4,86±0,26
	$КИО_2$ мл/л;	28,52±1,86	34,30±1,37	34,76±1,03	32,35±0,81
100 Вт	ИК, мл/кг	197,93±11,98	203,80±5,72	187,87±7,01	176,66±6,91^{x}
	СИ, мл/мин/м²	6,63±0,34	7,45±0,21	7,14±0,24	6,68±0,23
	$КИО_2$ мл/л;	33,39±2,02	39,45±1,43^{+}	39,85±1,30*	38,18±0,93^{v}
150 Вт	ИК, мл/кг	231,03±13,82	260,05±7,90	243,38±10,67	233,48±6,16^{x}
	СИ, мл/мин/м²	7,76±0,42	9,49±0,26^{+}	9,24±0,35*	8,85±0,22^{v}
	$КИО_2$ мл/л;	36,35±2,56	43,31±1,28^{+}	43,36±1,20*	39,89±1,03$^{x\cdot}$
200 Вт	ИК, мл/кг	234,69±17,83	312,48±7,19^{+}	278,17±9,81^{o}	267,95±7,12^{x}
	СИ, мл/мин/м²	7,96±0,58	11,42±0,25^{+}	10,58±0,33*^{o}	10,18±0,28^{vx}
	$КИО_2$ мл/л;	40,82±1,64	44,30±1,00	47,64±1,17*^{o}	40,37±1,21$^{x\cdot}$

Статья поступила в редакцию: 15.02.2020

Ванюшин Юрий Сергеевич *– доктор биологических наук, профессор, Казанский государственный аграрный университет, 420015, Россия, Казань, ул. К. Маркса, дом 65, e-mail: kaf.fv.kgau@mail.ru*
Федоров Николай Александрович *– кандидат биологических наук, доцент, Казанский государственный аграрный университет, 420015, Россия, Казань, ул. К. Маркса, дом 65, e-mail: nik-f-84@mail.ru*
Кузнецова Наталья Олеговна *– кандидат биологических наук, доцент, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 450008, Россия, г. Уфа, ул. Октябрьской революции, дом 3-а, e-mail: kaf.fv.kgau@mail.ru*