Дата публикации: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_2
УДК 796.922

Publication date: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_2
UDC 796.922

РЕАКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ГЕМОДИНАМИКИ У СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТИРОВАНИИ

А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, Ю.Н. Романов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

Аннотация. Анализируется реактивность системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта с различной максимальной скоростью, развиваемой в нагрузочном тестировании. В состав выборки исследования на основе информированного добровольного согласия были включены спортсмены циклических видов спорта мужского пола (n=76), средний возраст которых составил 19,15±2,48 лет. По видам спорта доля спортсменов распределилась следующим образом: лыжники-гонщики – 40%; легкоатлеты – 30%; пловцы – 30%. Нагрузочное тестирование проводили на беговой безмоторной дорожке Assault AirRunner с использованием датчиков пульса Polar H10 и мощности бега Stryd. Установлена ведущая роль гемодинамического параметра – общего периферического сопротивления сосудов, в частности – динамика его снижения в группах обследования. В 1-ой группе спортсменов показатель общего периферического сопротивления сосудов демонстрирует двухфазное снижение с минимальным значением на 3-ей ступени и максимумами на 1-ой и 5-ой ступенях тестирования. Данная ситуация отражает адекватную реактивность гемодинамических параметров на ступенчато возрастающие нагрузки. Во 2-ой группе спортсменов показатели общего периферического сопротивления сосудов демонстрируют колебательный характер снижения в пределах 15% от 1-ой к 4-ой ступени. На 5-ой ступени отмечается максимальное снижение показателя общего периферического сопротивления сосудов, которое на 12,48% больше, чем у представителей 1-ой группы спортсменов, что является компенсаторной реакцией гемодинамической системы при недостаточном уровне резервных возможностей центральной гемодинамики и инотропной функции сердца.

Ключевые слова: реактивность, гемодинамические параметры, спортсмены, нагрузочное тестирование, скорость выполнения нагрузки.

RESPONSIVENESS OF HEMODYNAMIC SYSTEMS IN CYCLIC SPORTS ATHLETES DURING STRESS TESTING

A.S. Bakhareva, D.Z. Shibkova, Yu.N. Romanov
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This study investigates the responsiveness of hemodynamic systems in athletes engaged in cyclic sports, characterized by different maximum speeds achieved during load testing. The sample comprised male athletes engaged in cyclic sports (n=76), with an average age of 19.15±2.48 years. The distribution of athletes across sports was as follows: ski racers – 40%, track-and-field athletes – 30%, swimmers – 30%. The test protocol was implemented on the Assault AirRunner treadmill using pulse sensors (Polar H10) and a running power meter (Stryd). The hemodynamic parameter playing a leading role is systemic vascular resistance, particularly the dynamics of its reduction within the groups. In the first group, systemic vascular resistance demonstrated a two-phase reduction, with a minimum value at the third stage and peaks at the first and fifth stages of testing. This scenario reflects an adequate responsiveness of hemodynamic parameters to progressively increasing loads. In the second group, systemic vascular resistance exhibited an alternating reduction within 15% from the first to the fourth stage. At the fifth stage, a maximum reduction of systemic vascular resistance was observed, which was 12.48% higher than in the first group, indicating a compensatory reaction of the hemodynamic system with an

insufficient level of reserve capabilities of central hemodynamics and inotropic function of the heart.

Keywords: reactivity, hemodynamic parameters, athletes, stress testing, speed of load execution.

Введение. Текущая деятельность субъекта определяется ведущей доминирующей функциональной системой организма. Другие функциональные системы, в соответствии с их биологической значимостью, формируются на основе иерархии результатов деятельности и отражают полезный приспособительный результат доминирующей системы. Каждый результативный отрезок деятельности (от потребности к ее удовлетворению) определяется специальной функциональной системой, которая рассматривается как «системоквант» [1]. Системокванты могут включать этапные результаты, удовлетворяющие или препятствующие исходной потребности организма. Чем более обучен организм, тем богаче его аппарат акцептора действия, и тем успешнее происходит удовлетворение его потребностей.

Ранее было установлено, что при возрастающих физических нагрузках изменяются функциональные взаимоотношения всех систем, которые на разных уровнях регуляции направлены на оптимальное обеспечение энергозатрат организма спортсмена [2-3]. Наиболее значимыми в обеспечении полноценной мышечной деятельности являются адаптивные сдвиги параметров сердечно-сосудистой системы [4-5]. Адекватные тренировки на развитие выносливости у спортсменов циклических видов спорта сопровождаются улучшением растяжимости и снижением тонуса артерий и обменных капилляров, что способствует снижению скорости кровотока и оптимальному использованию кислорода мышцами [6]. В свою очередь, уровень и скорость доставки кислорода к работающим мышцам определяют сократительная способность сердца и состояние деятельности центральной и периферической гемодинамики. В современной физиологии спорта наименее изученными остаются реактивные переходные состояния, определяющие границы нарушения гомеостаза, когда под влиянием прогрессирующих физических нагрузок создаются физиолого-биохимические предпосылки для адаптивных структурных перестроек в организме, в основе которых лежат интегративные реакции кардиореспираторной системы [7-10]. К наиболее информативным факторам [11] относят динамику артериального и пульсового давления, минутного объема дыхания и ударного объема крови. Увеличение диастолического артериального давления авторы относят к негативным факторам для роста максимального потребления кислорода. Исследование ранних кардиореспираторных предикторов завершения теста с физической нагрузкой на эргоспирометрической системе «Oxycon Pro» у высококвалифицированных лыжников-гонщиков по величине прироста от уровня покоя к моменту завершения нагрузки «до отказа» выявило три группы показателей:

– максимально лабильных – с увеличением более, чем на 1000% (минутный объем дыхания, потребление кислорода и выделение углекислого газа);

– умеренно лабильных – с увеличением от 100 до 500% (дыхательный объем, частота дыхания, дыхательный коэффициент, частота пульса, кислородный пульс и систолическое артериальное давление);

– малолабильных – с увеличением/ уменьшением в диапазоне не более 10% (отношение объема «мертвого пространства» к дыхательному объему, диастолическое артериальное давление и коэффициент использования кислорода).

У квалифицированных спортсменов, достигших максимального потребления кислорода, предиктором прекращения нагрузки может служить снижение его значения, а у спортсменов, завершивших нагрузку на уровне пикового потребления кислорода – отсутствие прироста кислородного пульса, уменьшение коэффициента использования кислорода до 29 мл/мин и ниже, падение сатурации крови на 10%,

увеличение дыхательного коэффициента до 1,05 и систолического артериального давления более 200 мм рт. ст. [12].

Основные показатели сердечно-сосудистой системы у пловцов сохраняют устойчивое состояние на фоне результатов срочной адаптации. Выявлена взаимосвязь показателей частоты сердечных сокращений (ЧСС) после нагрузки и типа саморегуляции кровообращения на скорость плавания у пловцов в переходном периоде, а также ЧСС после нагрузки, типа саморегуляции кровообращения, среднединамического давления, периферического сопротивления сосудов на скорость плавания у пловцов в соревновательном периоде [13].

У спортсменов-лыжников сохраняются сезонные приспособительные структурно-функциональные изменения в сердечно-сосудистой системе, но выявляются сезонные отличия в функционировании системы кровообращения. Так, зимой относительно лета у испытуемых выявлено меньшее систоло-диастолическое артериальное давление, большие размеры полости левого сердца, увеличение скорости раннего кровенаполнения левого желудочка, а также времени гемодинамики в корне легочной артерии [14]. Таким образом, исходя из принципа системного квантования деятельности, реактивность организма спортсменов на ступенчато возрастающие физические нагрузки функциональной пробы можно рассматривать как этапные результаты – системокванты, удовлетворяющие или препятствующие достижению результата.

Цель исследования заключается в выявлении реактивности гемодинамических параметров у спортсменов циклических видов спорта, дифференцированных по скорости выполнения нагрузки при ступенчатом тестировании.

Методы и организация исследования. В состав выборки исследования на основе информированного добровольного согласия были включены спортсмены циклических видов спорта мужского пола (n=76), средний возраст которых составил 19,15±2,48 лет. По видам спорта доля спортсменов распределилась следующим образом: лыжники-гонщики – 40%; легкоатлеты – 30%; пловцы – 30%. Тестирование проводили на беговой безмоторной дорожке Assault AirRunner с использованием датчиков пульса Polar H10 и мощности бега Stryd, работающих в синхронизации с аналитической программой PerfPRO по системе ANT^{+}, позволяющей фиксировать средние значения ЧСС на первых 4-х ступенях за последние 30 секунд нагрузки, а на 5-й ступени снимали показания ЧССmax, зафиксированной в аналитической программе. Тест включал 5 ступеней (t=3 минуты работы на первых четырех ступенях; t=1 минута работы на пятой ступени), нагрузка на каждой ступени возрастала в соответствии с зонами интенсивности по ЧСС согласно Норвежской классификации (табл. 1).

Таблица 1

Пятизонная классификация физической нагрузки, % от ЧССmax [15-16]

I зона	II зона	III зона	IV зона	V зона
60-72%	73-82%	83-87%	88-93%	94-100%

Анализировали параметры: W, Вт; W, Вт/кг; V, км/ч; ЧСС (уд/мин). Нагрузочный тест проходил с 2-х минутными паузами между ступенями для замера артериального давления (АД) в первые 30 секунд отдыха. Измерение систолического (САД, мм рт. ст.) и диастолического (ДАД, мм рт. ст.) артериального давления проводили с помощью медицинского тонометра Omron. Замеры АД проходили в положении сидя. Исходные показатели АД испытуемых регистрировали в состоянии покоя до нагрузочного тестирования. Далее рассчитывали общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $Па \cdot мл^{-1}$) по методике В.А. Пестряева [17]. Для выявления факторов, лимитирующих показатели скорости бега, все испытуемые были распределены на 2 группы:

спортсмены 1-ой группы (n=46) демонстрировали более высокие скоростные показатели от средних значений всей выборки, а атлеты 2-ой группы (n=30) – более низкие.

По видам спорта распределение в 1-ой группе было следующим: лыжники-гонщики – 50%; легкоатлеты – 35%; пловцы – 15%; во 2-ой группе соотношение спортсменов составило: пловцы – 47%; лыжники-гонщики – 30%; легкоатлеты – 23%. Показатели функциональных параметров, полученных на этапах тестирования, были проверены на нормальность их распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка (W), который показал отсутствие соответствия. В связи с этим, результаты анализировались с использованием непараметрических методов с помощью программного пакета IBM SPSS Statistics 23.0 и представлены в виде медианы, 25 и 75 перцентилей (Me (25-75%)). Для проверки статистической значимости полученных данных применялся непараметрический критерий Манна-Уитни (U).

Результаты исследования и их обсуждение. Значения антропометрических показателей и компонентов состава тела у спортсменов представлены в таблице 2. Значения исследуемых параметров соответствуют статистическим показателям для спортсменов циклических видов спорта, представленным в работах [18-19].

Таблица 2

Показатели антропометрии и компонентного состава тела у спортсменов циклических видов спорта, Me (25-75%)

Параметр	1-ая группа (n=46)	2-ая группа (n=30)	Различия	
			%	P
Возраст, лет	20,00 (18,00-21,00)	18,00 (17,00-20,00)	11,11	>0,05
Длина тела, см	180,00 (178,00-182,00)	181,00 (179,00-183,00)	0,56	>0,05
Масса тела, кг	71,80 (65,75-73,50)	77,10 (71,90-80,10)	7,38	<0,05
Относительная жировая масса, %	8,20 (5,60-10,35)	11,40 (8,60-13,00)	39,02	<0,05
Безжировая масса, кг	60,90 (57,95-64,00)	63,70 (62,40-67,90)	4,60	<0,05
Индекс массы тела, усл.ед.	21,60 (20,45-23,15)	23,40 (21,80-24,20)	8,33	<0,05

Анализ антропометрических параметров и показателей компонентного состава тела между группами спортсменов выявил некоторые особенности. Значения параметров общей массы, относительной жировой массы, безжировой массы тела и индекса массы тела были значимо выше во 2-ой группе по сравнению с 1-ой группой на 7,38%, на 39,02%, на 4,60% и на 8,33% соответственно. Выявленные особенности обусловлены преимущественным составом пловцов во 2-й группе спортсменов, масса тела которых и определила межгрупповые различия.

Результаты среднегрупповых значений скорости на ступенях нагрузочного тестирования отражают последовательный прирост скорости по мере увеличения интенсивности нагрузки у испытуемых, определяемой по показателям ЧСС (табл. 3).

Таблица 3

Показатели скорости (V, км/ч) при нагрузочном тестировании в группах испытуемых спортсменов, Me (25-75%)

Группа	1 ступень	2 ступень	3 ступень	4 ступень	5 ступень
1-ая группа	7,78 (6,73-9,18)	10,03 (9,09-10,93)	11,62 (10,90-12,87)	12,65 (12,01-14,52)	19,13 (18,69-19,66)
2-ая группа	7,11 (6,31-7,62)	8,58 (7,98-9,83)	10,01 (9,42-10,93)	11,90 (10,87-12,94)	16,82 (15,75-17,47)
%	9,42	16,90	16,08	6,30	13,73
P	>0,05	<0,01	<0,01	<0,05	<0,001

Различия между группами в скорости, кроме 1-ой ступени нагрузки, имели статистическую значимость с максимальным процентом различий на второй ступени на уровне аэробного порога (АэП).

Анализ приростов значений скорости (табл. 4) в 1-ой группе спортсменов по сравнению со 2-ой показал значимое межгрупповое различие только на 5-ой ступени тестирования на 9,90%. Внутригрупповые приросты скорости преодоления нагрузки в обеих группах и на каждой ступени тестирования имели статистическую значимость.

Таблица 4

Динамика значений приростов частоты сердечных сокращений (%) на ступенях нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта

Параметр	1-ая группа		2-ая группа		Критерий Манна-Уитни
	%	P	%	P	P
V_2	28,92	<0,001	20,68	<0,001	>0,05
V_3	15,85	<0,001	16,67	<0,001	>0,05
V_4	8,86	<0,01	18,88	<0,01	>0,05
V_5	51,24	<0,001	41,34	<0,001	<0,05

Полученные результаты скорости на пятой ступени тестирования указывают на преимущество анаэробных возможностей организма у спортсменов 1-ой группы.

Важным физиологическим параметром, отражающим адаптивные изменения к физическим нагрузкам, является показатель ЧСС, роль которого заключается в обеспечении объема кровообращения и доставки кислорода к работающим мышцам. Значения ЧСС в группах испытуемых спортсменов на ступенях нагрузочного тестирования увеличивались согласно зонам интенсивности, статистически значимых межгрупповых различий не было выявлено (табл. 5).

Таблица 5

Показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) на ступенях нагрузочного тестирования в группах испытуемых спортсменов, Me (25-75%)

Параметр	1-ая группа	2-ая группа	Различия	
			%	P
ЧСС $_{исх.}$	69,00 (60,00-72,50)	76,50 (68,25-79,75)	25,62	<0,05
$ЧСС_1$	132,60 (124,75-135,37)	133,90 (130,82-136,73)	0,98	>0,05
$ЧСС_2$	149,89 (146,50-152,10)	149,52 (144,64-150,34)	0,25	>0,05
$ЧСС_3$	165,00 (160,51-167,37)	164,82 (161,60-165,94)	0,11	>0,05
$ЧСС_4$	174,79 (171,47-178)	175,94 (171,10-177,46)	0,66	>0,05
$ЧСС_5$	192,00 (189,75-196,25)	193,00 (187,50-199,50)	0,52	>0,05

Несмотря на статистически значимое различие исходных показателей ЧСС в группах обследования, на всех ступенях тестирования медианные показатели спортсменов были равнозначными, и максимальные его значения на 5-ой ступени в обеих группах оказались практически равными. Следовательно, спортсмены при одинаковой интенсивности нагрузки демонстрировали разную скорость двигательных действий.

При анализе значений приростов ЧСС, представленных в таблице 6, у испытуемых 1-ой и 2-ой групп были зафиксированы статистически значимые различия приростов на каждой последующей ступени нагрузочного тестирования, по сравнению с предыдущей. Межгрупповые значения прироста ЧСС на второй ступени составили 1,37% ($p<0,05$).

Таблица 6

Динамика значений приростов частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) на ступенях нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта

Параметр	1-ая группа		2-ая группа		Критерий Манна-Уитни
	%	P	%	P	P
$ЧСС_1$	92,17	<0,001	75,03	<0,001	>0,05
$ЧСС_2$	13,04	<0,001	11,67	<0,001	<0,05
$ЧСС_3$	10,08	<0,001	10,23	<0,001	>0,05
$ЧСС_4$	5,93	<0,001	6,72	<0,001	>0,05
$ЧСС_5$	9,85	<0,001	9,70	<0,001	>0,05

Далее нами была проанализирована динамика значений АД, определяющего транскапиллярный обмен. Значения САД, ДАД, и ОПСС фиксируемые на первых 30 секундах отдыха после каждой нагрузочной ступени, не имели статистически значимых межгрупповых различий (рис.). Являясь одним из важных интегральных показателей состояния системы кровообращения, уровень АД, однако, не позволяет судить о состоянии кровоснабжения органов и тканей или объемной скорости кровотока в сосудах [20-21]. К наиболее информативным факторам относят динамику приростов артериального давления [11]. Также имеются данные о том, что меньшие значения ОПСС свидетельствуют о повышении емкости кровеносного русла за счет увеличения числа функционирующих микрососудов, обеспечивающих перераспределение кровотока в скелетную мускулатуру [22].

Результаты приростов АД и ОПСС представлены на рисунке. Динамика приростов гемодинамических параметров в 1-ой группе спортсменов носила нисходящий характер от максимального прироста САД на 21,09% ($p<0,001$) на первой ступени от фоновых показателей до 1,92% к 5-ой ступени тестирования. Диастолическое давление отражает физиологические изменения приростов, характерных для спортсменов, в пределах 5%. Значения ОПСС демонстрируют двухфазное снижение с минимальным значением на 3-ей ступени ($p>0,05$) и максимумами на 1-ой ($p<0,001$) и 5-ой ($p<0,001$) ступени тестирования. Значимое снижение ОПСС наблюдалось от 3-ей к 4-ой ступени нагрузки ($p<0,05$). Данная ситуация отражает адекватную реактивность гемодинамических параметров на ступенчато возрастающие нагрузки.

Во 2-ой группе спортсменов приросты систолического и диастолического АД были аналогичны динамике показателей спортсменов 1-ой группы до 4-ой ступени тестирования. Отличительной особенностью явилась тенденция снижения приростов САД и ДАД относительно этих значений у спортсменов 1-ой группы к 5-ой ступени нагрузки. Показатели ОПСС

изменялись фазно, снижение сменялось повышением показателя от 1-ой к 4-ой ступени в пределах 15-16%. На 5-ой ступени отмечается максимальное снижение показателя ОПСС ($p<0,001$), которое на 12,48% больше, чем у представителей 1-ой группы спортсменов.

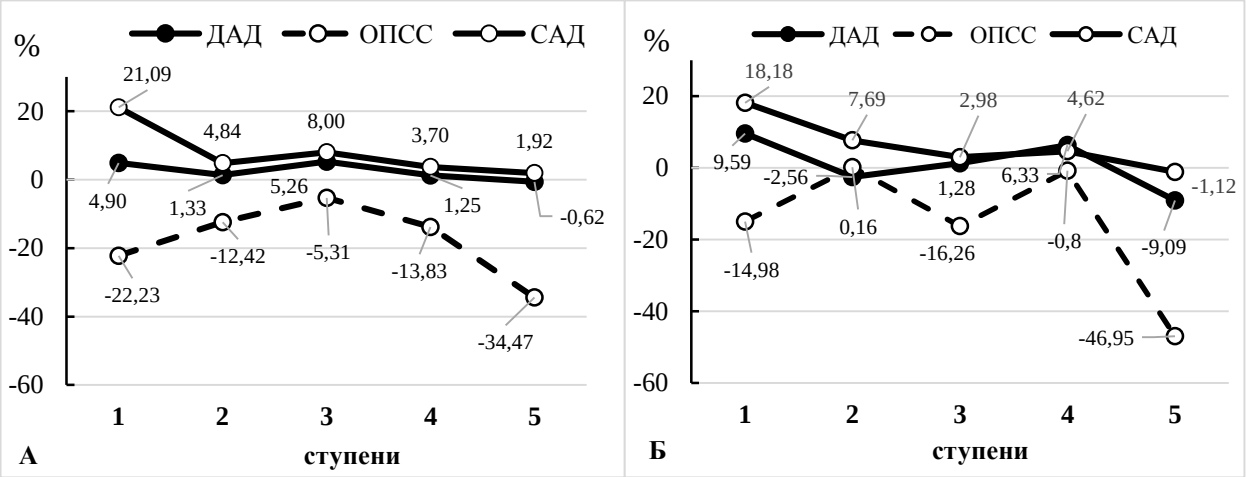


Рис. Динамика значений приростов систолического (САД), диастолического артериального давления (ДАД) и общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС) между ступенями нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта, %
Примечание: А) – 1-ая группа; Б) – 2-ая группа

Выявленная реакция гемодинамической системы у спортсменов 2-ой группы по значениям параметра ОПСС является компенсаторной. Адаптация к высокоинтенсивной нагрузке может выражаться значительным объёмом крови, протекающим прямо из артерии в вену (артериовенозный шунт), что приводит к резкому снижению общего периферического сопротивления.

Такая ситуация указывает на нарушение в регуляции артериального кровотока, снижение числа функционирующих микрососудов, обеспечивающих перераспределение кровотока в скелетную мускулатуру, что затрудняет адекватное обеспечение мышц кислородом во время физической нагрузки.

Заключение. Каждый результативный отрезок деятельности, в нашем случае, это отдельная физическая работа на каждой ступени тестирования, определяется специальной функциональной системой, которая представляет собой «системоквант» [1]. Более тренированный организм имеет более широкий аппарат акцептора действия и успешнее происходит удовлетворение его потребностей. Наименее изученными являются реактивные переходные состояния, определяющие границы гомеостаза в условиях воздействия прогрессирующих физических нагрузок. Значительное повышение общего объема циклической нагрузки в предсоревновательном мезоцикле специально-подготовительного этапа, соответственно увеличивает и нагрузку на сердечно-сосудистую систему [23], которая является лимитирующим фактором спортивного результата.

Полученные результаты исследования указывают на то, что наиболее реактивным параметром системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании на беговой безмоторной дорожке Assault AirRunner оказалось периферическое сопротивление сосудов.

Динамика ОПСС по этапам нагрузочного тестирования у спортсменов 1-ой группы, которые имели более высокие скоростные показатели, отражает двухфазное снижение его значений: минимальный уровень снижения на 3-ей ступени и

максимумы снижения на 1-ой и 5-ой ступенях тестирования. Данная ситуация отражает, на наш взгляд, адекватную реактивность гемодинамических параметров на смену интенсивности ступенчато возрастающей нагрузки и увеличения скорости ее выполнения. Во 2-ой группе спортсменов с более низкими показателями скорости динамика ОПСС отражает его фазный характер: снижение и повышение значений в пределах 15-16% от 1-ой к 4-ой ступени нагрузки. На 5-ой ступени отмечается максимальное снижение показателя ОПСС, которое на 12,5% больше, чем у представителей 1-ой группы спортсменов, что является компенсаторной реакцией гемодинамической системы, направленной на повышение венозного возврата крови.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судаков, К. В. Системокванты – дискретные единицы динамической деятельности функциональных систем / К. В. Судаков // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2005. – № 1. – С. 48-59.
2. Функциональная характеристика лыжников-гонщиков Республики Коми / Солонин Ю. Г., Гарнов И. О., Марков А. Л. [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 12-20.
3. Бахарева, А. С. Особенности функционального ответа организма лыжников-гонщиков с различными скоростными показателями в нагрузочном тесте / А. С. Бахарева, Д. З. Шибкова, В. В. Эрлих // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. – С. 30-39.
4. Меерсон, Ф. З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
5. Норрис, С. Физиология / С. Норрис, Д. Смит // Спорт. медицина. – К.: Олимп. литература, 2003. – С. 252-264.
6. Пупырева, Е. Д. Механизмы кислородного обеспечения организма спортсменов в покое и при нагрузках максимальной мощности / Е. Д. Пупырева, М. В. Балыкин // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 124-130.
7. Wilmore, J. H. Physiology of sport and exercise / J. H. Wilmore, D. Costill, W. L. Kenney. – Human Kinetics, 2009. – 529 p.
8. Oh, D.-J. The effects of strenuous exercises on resting heart rate, blood pressure, and maximal oxygen uptake / D.-J. Oh, H.-O. Hong, B.-A. Lee // J. Exerc. Rehabil. – 2016. – № 12(1). – P. 42-46.
9. Lee, B.-A. The effects of long-term aerobic exercise on cardiac sructure, stroke volume of the left ventricle, and cardiac output / B.-A. Lee, D.-J. Oh // J. Exerc. Rehabil. – 2016. – № 12. – P. 37-41.
10. Differences in physiological responses during rowing and cycle ergometry in elite male rowers / Lindenthaler J. R., Rice A. J., Versey N. G. [et al] // Front. Physiol. – 2018. – № 9. – P. 1010.
11. Особенности реакции артериального давления на физическую нагрузку у представителей различных видов спорта / Мавлиев Ф. А., Назаренко А. С., Асманов Р. Ф. [и др.] // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 62-68.
12. Кардиореспираторные предикторы завершения теста с максимальной нагрузкой у высококвалифицированных лыжников-гонщиков / Варламова Н. Г., Логинова Т. П., Мартынов Н. А. [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2015. – № 2. – С. 53-60.
13. Петрова, Г. С. Влияние тренировочного процесса на адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы у пловцов / Г. С. Петрова // Спортивная медицина: наука и практика. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 5-11.
14. Дерновой, Б. Ф. Кардиогемодинамика и секреторная функция миокарда у высококвалифицированных лыжников-гонщиков при адаптации к холоду / Б. Ф. Дерновой, В. И. Прошева // Экология человека. – 2019. – № 6. – С. 45-50.
15. Seiler, K. S. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? / K. S. Seiler, G. Kjerland // Scand J Med Sci Sports. – 2006. – № 16(1). – P. 49-56.
16. Sylta, Ø. From heart-rate data to training quantification: A comparison of 3 methods of training-intensity analysis / Ø. Sylta, E. Tønnessen, S. Seiler // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2014. – № 9. – P. 100-107.
17. Патент на изобретение RU 2481785 C2. Способ определения минутного объема крови (МОК) и общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС): N 2011128217/14 заявл. 07.07.2011; опубл. 20.05.2013 / Пестряев В. А.,

Кинжалова С. В., Макаров Р. А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО УГМА Минздравсоцразвития России. – Бюл. № 14.
18. Биоимпедансное исследование и оценка показателей состава тела спортсменов высокой квалификации зимних видов спорта / Солнцева Т. Н., Коростелева М. М., Черных С. П. [и др.] // Вопросы питания. – 2014. – Т. 83. – № S3. – С. 145-146.
19. Водно-электролитный баланс и состав тела спортсменов при различных физических нагрузках / Корягина Ю. В., Нопин С. В., Тер-Акопов Г. Н. [и др.] // Курортная медицина. – 2018. – № 2. – С. 38-43.
20. Ткаченко, Б. И. Понятие об управлении (регуляции) в кровообращении / Б. И. Ткаченко, А. В. Левтов // Физиология кровообращения. Регуляция кровообращения. – Л.: Наука, 1986. – С. 5-10.
21. Martin, S. A. Individual adaptation in cross-country skiing based on tracking during training conditions / S. A. Martin, R. M. Hadmaş // Sports. – 2019. – № 7(9). – P. 211.
22. Айзятулова, Е. Д. Кислородное обеспечение организма спортсменов высокого класса в покое и при нагрузках максимальной мощности / Е. Д. Айзятулова, А. С. Кузнецов, С. Н. Виноградов // Фундаментальные вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания: материалы XIV Всероссийской с международным участием Школы-конференции (Санкт-Петербург, 14-17 октября 2019 года). – Ульяновск: УлГУ, 2019. – С. 23-28.
23. Руль, Е. А. Влияние курсового применения транскраниальной электростимуляции на состояние сердечно-сосудистой системы и специальную работоспособность лыжников-гонщиков в условиях учебно-тренировочных сборов / Е. А. Руль, О. Н. Кудря // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2021. – № 4(38). – С. 112-122.

REFERENCES

1. Sudakov K.V. System quanta – discrete units of dynamic activity of functional systems. *Bulletin of the Ural Medical Academic Science*, 2005, no. 1, pp. 48-59. (in Russ.)
2. Solonin Yu.G., Garnov I.O., Markov A.L., Nutrikhin A.V. Functional characteristic of ski-runners in Komi Republic. *Sports medicine: research and practice*, 2018, vol. 8, no 2, pp. 12-20. (in Russ.)
3. Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Erlikh V.V. Features of functional response in ski racers depending on their speed in the load test. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no 2, pp. 30-39. (in Russ.)
4. Meerson F.Z., Pshennikova M. G. Adaptation to stressful situations and physical activity. Moscow: Meditsina, 1988, pp. 256. (in Russ.)
5. Norris S., Smith D. Physiology. In: Sports medicine. Translated into Russian. Kiev: Olimpijskaya literatura, 2003. pp. 252-264. (in Russ.)
6. Pupyreva E.D., Balykin M.V. Mechanism of oxygen supply in sportsmen at the rest and maximal physical exercises. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*2013, no 1, pp. 24-130. (in Russ.)
7. Wilmore J.H., Costill D., Kenney W.L. Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, 2009. pp. 529.
8. Oh D.-J., Hong H.-O., Lee B.-A. The effects of strenuous exercises on resting heart rate, blood pressure, and maximal oxygen uptake. *J. Exerc. Rehabil*, 2016, no. 12(1), pp. 42-46.
9. Lee B.-A, Oh D.-J. The effects of long-term aerobic exercise on cardiac sructure, stroke volume of the left ventricle, and cardiac output. *J. Exerc. Rehabil*, 2016, no. 12, pp. 37-41.
10. Lindenthaler J.R., Rice A.J., Versey N.G., McKune A.J., Welvaert M. Differences in physiological responses during rowing and cycle ergometry in elite male rowers. *Front. Physiol.* 2018, no. 9, p. 1010.
11. Mavliev F.A., Nazarenko A.S., Asmanov R.F., Sirazetdinov A.F., Mastrov A.V. Features of arterial pressure response to exercise tests in athletes of various sports. *Science and sport: current trends*, 2019, vol. 8, no 1, pp. 62-68. (in Russ.)
12. Varlamova N.G., Loginova T.P., Martynov N.A., Chernykh A.A., Rastorguev I.A., Garnov I.O., Larina V.E., Bojko E.R. Cardiorespiratory predictors for maximal load test termination in professional cross-country skiers. S*ports medicine: research and practice*, 2015, no. 2, pp. 53-60. (in Russ.)
13. Petrova G.S. The impact of the training process on the adaptive capabilities of the cardiovascular system in swimmers. *Sports medicine: research and practice*, 2018, no. 8(2), pp. 5-11. (in Russ.)
14. Dernovoy B.F. Prosheva V.I. Cardiohemodynamic and secretory function of the myocardium in elite athletes during adaptation to cold. *Human ecology*, 2019, no 6, pp. 45-50. (in Russ.)
15. Seiler K.S., Kjerland G. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution. *Scand J Med Sci Sports*, 2006, no 16(1), pp. 49-56.

16. Sylta Ø., Tønnessen E., Seiler S. From heart-rate data to training quantification: A comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2014, no. 9, pp. 100-107.
17. Pestryaev V.A., Kinzhalova S.V., Makarov R.A. Method of determining cardiac output (CO) and total peripheral vascular resistance (TPVR). Patent for invention RU 2481785 C2, 2013. (in Russ.)
18. Solntseva T.N., Korosteleva M.M., Chernykh S.P. Bioimpedance study and assessment of body composition indicators of highly qualified winter sports athletes. *Nutrition issues*, 2014, no S3, vol. 83, pp. 145-146. (in Russ.)
19. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Ter-Akopov G.N., Roguleva L.G. Water and electrolytic balance and body composition of athletes at various physical activities. *Resort Medicine*, 2018, no. 2, pp. 38-43. (in Russ.)
20. Tkachenko B.I., Levtov A.V. The concept of control (regulation) in blood circulation. In: Physiology of blood circulation. Regulation of blood circulation. Leningrad: Nauka, 1986. pp. 5-10. (in Russ.)
21. Martin S.A., Hadmaş R.M. Individual adaptation in cross-country skiing based on tracking during training conditions. *Sports*. 2019, no. 7(9), p. 211.
22. Ajziatulova E.D., Kuznetsov A.S., Vinogradov S.N. Oxygen supply of the body of elite athletes at rest and under maximum power loads. Fundamental Issues of Experimental and Clinical Physiology of Respiration: Materials of the XIV All-Russian School-Conference with international participation (St. Petersburg, October 14-17, 2019). Ulyanovsk, 2019. pp. 23-28. (in Russ.)
23. Rul' E.A., Kudrya O.N. Influence of the course application of transcranial electrostimulation on cardiovascular system state and special performance of ski-racers in practice-training sessions. *Physical education and sports training*, 2021, no. 4(38), pp. 112-122. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Анастасия Сергеевна Бахарева – кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивного совершенствования, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: bakharevaas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0518-7751.
Дарья Захаровна Шибкова – доктор биологических наук, главный научный сотрудник центра спортивной науки, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: shibkova2006@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8583-6821.
Юрий Николаевич Романов – доктор биологических наук, профессор кафедры спортивного совершенствования, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: romanovyn@susu.ru, ORCID: 0000-0002-0516-9505.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Anastasia S. Bakhareva – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Sports Perfection, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: bakharevaas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0518-7751.
Dar'ya Z. Shibkova – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Sports Science Center, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: shibkova2006@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8583-6821.
Yurij N. Romanov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Sports Improvement, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: romanovyn@susu.ru, ORCID: 0000-0002-0516-9505.

Для цитирования: Бахарева, А. С. Реактивность системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании / А. С. Бахарева, Д. З. Шибкова, Ю. Н. Романов // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_2

For citation: Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Romanov Yu.N. Responsiveness of hemodynamic systems in cyclic sports athletes during stress testing. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_2