

РЕАКТИВНОСТЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ, ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И МЫШЕЧНАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ У СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ И ИГРОВЫХ ВИДОВ СПОРТА ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТИРОВАНИИ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.С. Черепанов, А.С. Аминов, А.С. Бахарева

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация

Цель исследования: обобщить современные данные о сердечно-сосудистой реактивности, динамике центральной гемодинамики и мышечной оксигенации в ответ на физическую нагрузку.

Методы и организация исследования. Проведён систематический анализ экспериментальных исследований, мета-анализов и обзоров с использованием баз данных PubMed, Scopus и Web of Science. Включены работы, применяющие методы неинвазивного измерения артериального давления, расчёта сердечного выброса (МОК), ударного объёма сердца (УОК), общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС) и мониторинга мышечной оксигенации (насыщение мышечного кислорода, SmO₂; общий гемоглобин tHb) с помощью ближней инфракрасной спектроскопии (NIRS) [1, 11].

Результаты исследования и их обсуждение. Установлено, что у спортсменов максимальные значения МОК достигают 30-40 л/мин с умеренным увеличением артериального давления [6]. Падение насыщения показателя tHb по мере роста нагрузки отражает переход к анаэробным процессам [11], а скорость восстановления SmO₂ после нагрузки является информативным показателем уровня тренированности [12].

Заключение: Комплексная оценка центральной гемодинамики и мышечной оксигенации (периферической) при нагрузочном тестировании позволяет выявлять типы кардиогемодинамических реакций [10] и оптимизировать тренировочные программы спортсменов, а также своевременно диагностировать потенциальные риски развития сердечно-сосудистых нарушений [5].

Ключевые слова: сердечно-сосудистая реактивность, физическая нагрузка, нагрузочное тестирование, центральная гемодинамика, сердечный выброс, ударный объём сердца, общее периферическое сопротивление сосудов, мышечная оксигенация, ближняя инфракрасная спектроскопия, спортсмены циклических видов спорта, типы кардиогемодинамических реакций, протоколы нагрузочного тестирования.

CARDIOVASCULAR REACTIVITY, HEMODYNAMIC CHANGES AND MUSCLE OXYGENATION IN ENDURANCE AND TEAM SPORTS ATHLETES DURING PERFORMANCE TESTING: A REVIEW OF RECENT STUDIES

V.S. Cherepanov, email: cherepanovvadim@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4243-6385

A.S. Aminov, e-mail: aminovas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0440-6553

A.S. Bakhareva, e-mail: bakharevaas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0518-7751

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract

The purpose of the research was to summarize current data on cardiovascular reactivity, central hemodynamic dynamics and muscle oxygenation response to physical exercise [2, 6].

Methods and organization of the research. A systematic analysis of experimental studies, meta-analyses and reviews published was conducted using the PubMed, Scopus and Web of Science databases. The studies included methods of non-invasive blood pressure measurement, calculation of cardiac output (CO), stroke volume (SV), total peripheral resistance (TPR) and monitoring of muscle oxygenation (muscle oxygen saturation, SmO₂, tHb) using near-infrared spectroscopy (NIRS) [1, 11].

Results and discussion. It was found that in athletes, the maximal cardiac output (CO) values reach 30-40 L/min with a moderate increase in arterial blood pressure [6]. The decline in tHb saturation as the workload increases reflects the transition to anaerobic metabolism [11], whereas the rate of SmO₂ recovery after exercise is an informative indicator of the athlete's fitness level [12].

Conclusion. A comprehensive assessment of central (cardiac) and peripheral (muscle) hemodynamics during exercise testing allows identifying types of cardiohemodynamic response patterns [10] and optimizing athletes' training programs, as well as timely diagnosing potential risks of developing cardiovascular disorders [5].

Keywords: cardiovascular reactivity, physical exercise, exercise testing, central hemodynamics, cardiac output, stroke volume, total peripheral resistance, muscle oxygenation, near-infrared spectroscopy, athletes of cyclic sports, types of cardiohemodynamic responses, exercise testing protocols.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение реактивности сердечно-сосудистой системы у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании имеет важное значение для оценки функциональных возможностей организма, оптимизации тренировочных процессов и профилактики развития сердечно-сосудистых заболеваний [2, 5]. Актуальность темы обусловлена ростом интереса к неинвазивным методам оценки центральной гемодинамики, включая МОК, УОК, ОПСС, а также к исследованию динамики SmO₂, tHb с использованием NIRS [1, 8].

Современные данные свидетельствуют о существовании различных типов кардиогемодинамических реакций у спортсменов в ответ на физическую нагрузку, что может иметь важные прикладные последствия для индивидуализации подготовки [10]. Однако вопросы взаимосвязи между изменениями центральной и периферической гемодинамики при возрастающей нагрузке остаются недостаточно исследованными, особенно в контексте высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта.

Целью настоящего обзора является обобщение современных данных о сердечно-сосудистой реактивности, изменениях центральной гемодинамики и периферической динамике мышечной оксигенации у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании, а также рассмотрение существующих модификаций протоколов тестирования для более точной оценки физиологических реакций.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе подготовки обзорной статьи был проведён систематический поиск и анализ научных публикаций в базах данных PubMed, Scopus и Web of Science. В критерии включения

вошли: оригинальные исследования, обзорные статьи и мета-анализы, посвящённые оценке реактивности сердечно-сосудистой системы, центральной гемодинамики и мышечной оксигенации у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании.

Особое внимание уделялось работам, в которых использовались следующие методы:

- неинвазивное измерение артериального давления;
- расчёт показателей МОК, УОК, ОПСС;
- NIRS для мониторинга мышечной оксигенации.

Дополнительными критериями отбора являлись: выделение фаз реакции на физическую нагрузку и восстановление, идентификация типов кардиогемодинамических ответов, а также наличие модификаций протоколов нагрузочного тестирования [8].

В итоговый анализ были включены 12 исследований, соответствующих тематике и критериям качества. В настоящем обзоре рассматривались исключительно исследования, посвящённые аэробным динамическим нагрузкам (например, бег на дорожке, велоэргометрия), выполняемым по ступенчатым и протоколам с возрастающей нагрузкой. Силовые, статические и скоростно-силовые нагрузки (например, жим, присед, изометрические удержания) не включались в анализ, поскольку гемодинамические реакции при этих типах нагрузок имеют отличную физиологическую природу — в частности, из-за сдавления сосудов мышечной массой и ограничения венозного возврата, что влияет на характер изменений МОК и УОК. Поисковыми запросами были сочетания на русском и английском языках, такие как: "cardiovascular reactivity", "central hemodynamics", "muscle oxygenation", "endurance athletes", "exercise testing", "SmO₂", "NIRS", "stroke volume", "cardiac output", "нагрузочное тестирование".

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сердечно-сосудистая реактивность при нагрузочном тестировании

Современные исследования подчёркивают высокую адаптационную способность сердечно-сосудистой системы спортсменов циклических видов спорта к ступенчатому увеличению физической нагрузки. В рамках настоящего обзора рассматривались только аэробные ступенчатые нагрузки (велоэргометр, беговая дорожка), исключая силовые и изометрические упражнения, в которых гемодинамика и давление развиваются по иным физиологическим механизмам. У большинства атлетов наблюдается линейный рост МОК с увеличением мощности нагрузки, сопровождающийся стабилизацией или незначительным ростом артериального давления в пределах физиологической нормы [6, 12].

Типичная картина реакции включает увеличение УОК до определённого предела, после чего дальнейший рост МОК происходит в основном за счёт учащения сердечного ритма [6]. Способность поддерживать оптимальный профиль реакции позволяет спортсменам дольше сохранять эффективность кислородного транспорта на высоких уровнях нагрузки.

Также стоит отметить, что гипертензивный ответ на нагрузку, превышающий верхние границы нормы, даже у тренированных спортсменов

может свидетельствовать о скрытых нарушениях сосудистой регуляции [2, 9], что требует дополнительного наблюдения.

Центральная гемодинамическая адаптация к физической нагрузке

При увеличении физической нагрузки происходит комплексная перестройка центральной гемодинамики. У высококвалифицированных спортсменов отмечается существенное увеличение сердечного выброса, достигающее 30-40 л/мин на пике нагрузки, что значительно превышает показатели нетренированных лиц [6]. УОК возрастает на первых этапах тестирования за счёт увеличения начальной нагрузки и снижения постнагрузки. При дальнейшем нарастании интенсивности работа сердечно-сосудистой системы смещается в сторону увеличения частоты сердечных сокращений, при стабилизации УОК [6].

Показатель ОПСС демонстрирует тенденцию к снижению, что отражает вазодилатацию периферических сосудов, направленную на поддержание адекватной перфузии тканей [12].

Для комплексной характеристики включённых в обзор исследований, учитывающих изменения центральной и периферической гемодинамики при физической нагрузке, приведены основные сведения о дизайне, выборке, методах измерений и ключевых показателях. Основные характеристики включённых исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика включённых исследований
Table 1 – Characteristics of the included studies

№	Авторы Authors	Год Year	Дизайн исследования Study design	Объект исследования Object of study	Методы Methods	Краткий результат Brief result
1	Caselli S. et al.	2016	Экспериментальное исследование	Олимпийские спортсмены, мужчины и женщины, 18-35 лет	Измерение артериального давления при нагрузке (тредмил-тест, тонометрия)	Определены верхние границы нормального ответа артериального давления при нагрузке у спортсменов высокого уровня
2	Pesova P. et al.	2023	Обзорное исследование	Мужчины и женщины, 18-75 лет (спортсмены и неспортсмены)	Нагрузочное тестирование (тредмил-тест), мониторинг АД (автоматическая тонометрия), статистический анализ	Частота гипертензивного ответа у спортсменов ниже, чем в общей популяции; предложены пороговые значения АД
3	Corrado D. et al.	2010	Методические рекомендации	Спортсмены, мужчины и женщины, 14-40 лет	Экспертный анализ ЭКГ-реакций, обобщение наблюдений, международное согласование критериев	Определены критерии допустимых и патологических изменений ЭКГ у спортсменов, предложен алгоритм интерпретации
4	Shkolnikova M.A. et al.	2023	Экспериментальное исследование	Мужчины и женщины, 18-30 лет, с разной подготовленностью	Субмаксимальный тест PWC170 (велоэргометрия), измерение АД (тонометрия), ЧСС, расчёт МОК	Выделены типы кардиогемодинамических реакций в зависимости от уровня подготовки спортсменов

№	Авторы Authors	Год Year	Дизайн исследования Study design	Объект исследования Object of study	Методы Methods	Краткий результат Brief result
5	Leddy J.J., Izzo J.L.	2009	Обзорное исследование	Спортсмены, мужчины и женщины, 18-40 лет	Анализ литературы по мониторингу артериального давления в покое и при нагрузке	Предложены критерии диагностики гипертензии у спортсменов и риски её недооценки
6	Zhang Y. et al.	2020	Эксперимен- тальное исследование	Баскетболисты и контрольная группа, мужчины и женщины, 18-30 лет	Тест Bruce, измерение МОК (гемодинамический мониторинг), мониторинг ЧСС и АД до и после нагрузки	У баскетболистов быстрее восстанавливаются показатели центральной гемодинамики после нагрузочного теста
7	Montero D., Diaz- Cañestro C., Lundby C.	2015	Эксперимен- тальное исследование	Спортсмены и нетренированные мужчины и женщины, 18-35 лет	Измерение сердечного выброса (газоанализ VO ₂ , ацетиленовое разведение), анализ аэробной мощности	Доказано, что прирост VO ₂ max у спортсменов связан с увеличением максимального МОК
8	Boone J. et al.	2016	Эксперимен- тальное исследование	Мужчины и женщины, 18- 40 лет, разный уровень аэробной подготовки	NIRS, ЭМГ, VO ₂ , ступенчатый протокол с анализом SmO ₂ и мышечной активации	Установлена связь между снижением SmO ₂ и уровнем аэробной подготовки, определены паттерны активации
9	Wu Y., Song T., Xu G.	2015	Эксперимен- тальное исследование	Пловцы, мужчины и женщины, 18-30 лет	Ступенчатый тест, измерение SmO ₂ (NIRS), лактат-анализ (капиллярная кровь)	Показано одновременное снижение SmO ₂ и повышение лактата при нарастании нагрузки
10	Perrey S., Ferrari M.	2018	Обзорное исследование	Спортсмены, мужчины и женщины, 18-40 лет	Обзор применения NIRS в спортивной науке: мониторинг, протоколы, анализ тренировочных адаптаций	Определены преимущества и ограничения метода NIRS, предложены направления применения в тренировочном процессе
11	Palatini P.	2022	Обзор / глава в монографии	Спортсмены и лица с гипертензией, мужчины и женщины, 18-65 лет	Обзор гемодинамических реакций при различных типах нагрузки, анализ кривых АД и МОК	Описаны особенности гемодинамики при спортивной нагрузке и её отличие у лиц с гипертензией
12	Kime R. et al.	2003	Эксперимен- тальное исследование	Мужчины и женщины, 20- 35 лет, разная митохондриальная активность	Изометрическая нагрузка, NIRS, анализ скорости реоксигенации после разных уровней интенсивности	Скорость мышечной реоксигенации зависит от окислительной способности скелетной мускулатуры

Примечание. АД – артериальное давление, МОК – минутный объём кровообращения, УОК – ударный объём сердца, ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов, SmO₂ – насыщение мышечного кислорода, tHb – общий гемоглобин, NIRS – ближняя инфракрасная спектроскопия

Note: АД – arterial pressure, МОК – minute volume of blood circulation, УОК – stroke volume of the heart, ОПСС – total vascular resistance, SmO₂ – muscle oxygen saturation, tHb – total hemoglobin, NIRS – near infrared spectroscopy

Изменения мышечной оксигенации при ступенчатой нагрузке

Использование метода NIRS позволяет детально отслеживать динамику SmO₂ во время тестирования. В процессе нарастающей нагрузки наблюдается постепенное снижение SmO₂, что связано с увеличением потребления кислорода работающими мышцами и несоответствием скорости доставки кислорода спросу [11].

При анализе tHb выявляется её рост на начальных этапах тестирования, что интерпретируется как следствие венозного застоя и мобилизации кровеносного русла в мышцах [1].

Характер снижения SmO₂ и изменения tHb зависит от уровня подготовленности спортсмена:

более тренированные лица демонстрируют более медленное падение SmO₂ и более быстрое восстановление после нагрузки [12].

Типы кардиогемодинамических реакций

На основании анализа литературы выделено несколько типов кардиогемодинамических реакций на ступенчатое нагрузочное тестирование:

– гиперкинетический тип: доминирование увеличения МОК за счёт частоты сердечных сокращений.

– эукинетический тип: оптимальное увеличение МОК за счёт сбалансированного прироста УОК и частоты сердечных сокращений.

– гипокинетический тип: недостаточное увеличение МОК на фоне нарастающей нагрузки, что

может свидетельствовать о снижении функциональных резервов [10].

Идентификация типа реакции имеет важное прикладное значение для подбора индивидуальных стратегий тренировок и выявления скрытых ограничений сердечно-сосудистой адаптации.

Следует отметить, что данная классификация (гиперкинетический, эукинетический, гипокинетический типы) предложена в работе Shkolnikova M.A. et al. [10] и в аналогичном виде в других включённых в обзор публикациях не встречается. Тем не менее она может служить основой для дальнейших исследований, направленных на типологизацию гемодинамических ответов у спортсменов при тестировании.

Взаимосвязь между центральной гемодинамикой и мышечной оксигенацией

Несколько исследований показали наличие тесной взаимосвязи между динамикой сердечного выброса и снижением SmO_2 в работающих мышцах. Более выраженное снижение SmO_2 коррелирует с высоким уровнем потребления кислорода на периферии и увеличением сердечного выброса [1, 11].

Эти данные подчеркивают важность комплексной оценки как центральных, так и периферических механизмов кислородного обмена для более точной диагностики функционального состояния спортсменов.

Модификации протоколов нагрузочного тестирования

Современные модификации протоколов тестирования предполагают:

- индивидуализацию начального уровня нагрузки в зависимости от предварительного тестирования, что позволяет повысить чувствительность к фазовым изменениям физиологических показателей [8, 12];
- сокращение продолжительности ступеней теста (например, до 1 мин), что используется для более точной фиксации переходных зон и кривых SmO_2 /ЧСС/МОК [7, 9];
- интеграцию непрерывного мониторинга SmO_2 и tHb в реальном времени с использова-

нием технологий ближней инфракрасной спектроскопии (NIRS) совместно с регистрацией гемодинамики, что позволяет отслеживать степень локального мышечного утомления и соотносить её с центральными реакциями [8, 10].

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор современных исследований показал, что реактивность сердечно-сосудистой системы у спортсменов циклических и игровых видов спорта при ступенчатом нагрузочном тестировании характеризуется высокой степенью адаптивности, проявляющейся в эффективной регуляции МОК, УОК и ОПСС [6].

Снижение SmO_2 , зафиксированное методами NIRS в процессе увеличения нагрузки, и скорость восстановления этих показателей после прекращения теста отражают уровень аэробной подготовки спортсменов и эффективность периферической доставки кислорода [11, 12].

Выделение типов кардиогемодинамических реакций при нагрузочном тестировании (гиперкинетический, эукинетический, гипокинетический) позволяет более точно оценивать функциональные резервы сердечно-сосудистой системы и дифференцировать подходы к индивидуализации тренировочных программ [10].

Взаимосвязь между динамикой центральной гемодинамики и снижением SmO_2 подчёркивает важность комплексного подхода к оценке физиологических реакций спортсменов. Использование интегрированных методов мониторинга в реальном времени (NIRS в сочетании с гемодинамическими оценками) может значительно повысить точность диагностики состояния сердечно-сосудистой и мышечной систем в процессе ступенчатых тестов [1, 8].

В перспективе необходимо дальнейшее развитие протоколов нагрузочного тестирования с учётом индивидуальных особенностей спортсменов, а также расширение исследований, направленных на выявление ранних признаков неблагоприятных изменений сердечно-сосудистой регуляции в ответ на физическую нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Boone J., Barstow T.J., Celie B., Prieur F., Bourgois J. The interrelationship between muscle oxygenation, muscle activation, and pulmonary oxygen uptake to incremental ramp exercise: influence of aerobic fitness // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2016. – Vol. 41, no. 1. – P. 55-62. – DOI: 10.1139/apnm-2015-0261.
2. Caselli S., Vaquer Segui A., Quattrini F., Di Giacinto B., Milan A., Assorgi R., Verdile L., Spataro A., Pelliccia A. Upper normal values of blood pressure response to exercise in Olympic athletes // *American Heart Journal*. – 2016. – Vol. 177. – P. 120-128. – DOI: 10.1016/j.ahj.2016.04.020.
3. Corrado D., Pelliccia A., Heidbuchel H., Sharma S., Link M., Basso C., Biffi A., Buja G., Delise P., Gussac I., Anastakis A., Borjesson M., Bjørnstad H.H., Carré

- F., Deligiannis A., Dugmore D., Fagard R., Hoogsteen J., Mellwig K.P., Panhuyzen-Goedkoop N., Solberg E., Vanhees L., Drezner J., Estes N.A. 3rd, Iliceto S., Maron B.J., Peidro R., Schwartz P.J., Stein R., Thiene G., Zeppilli P., McKenna W.J. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete // *European Heart Journal*. – 2010. – Vol. 31, no. 2. – P. 243-259. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehp473.
4. Kime R., Katsumura T., Hamaoka T., Osada T., Sako T., Murakami M., Bae S.Y., Toshinai K., Haga S., Shimomitsu T. Muscle reoxygenation rate after isometric exercise at various intensities in relation to muscle oxidative capacity // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 2003. – Vol. 530. – P. 497-507. – DOI: 10.1007/978-1-4615-0075-9_47.
 5. Leddy J.J., Izzo J.L. Hypertension in athletes // *Journal of Clinical Hypertension*. – 2009. – Vol. 11, no. 4. – P. 226-233. – DOI: 10.1111/j.1751-7176.2009.00100.x.
 6. Montero D., Diaz-Cañestro C., Lundby C. Endurance training and $\dot{V}O_2\text{max}$: role of maximal cardiac output and oxygen extraction // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2015. – Vol. 47, no. 10. – P. 2024-2033. – DOI: 10.1249/MSS.0000000000000640.
 7. Palatini P. Haemodynamics of exercise testing and sports activities // In: Palatini P., Agabiti-Rosei E., Mancia G. (eds.) *Exercise, Sports and Hypertension*. – Cham: Springer, 2022. – P. 1-12. – DOI: 10.1007/978-3-031-07958-0_1.
 8. Perrey S., Ferrari M. Muscle oximetry in sports science: a systematic review // *Sports Medicine*. – 2018. – Vol. 48, no. 3. – P. 597-616. – DOI: 10.1007/s40279-017-0820-1.
 9. Pesova P., Jiravska Godula B., Jiravsky O., Jelinek L., Sovova M., Moravcova K., Ozana J., Gajdusek L., Miklik R., Sknouril L., Neuwirth R., Sovova E. Exercise-induced blood pressure dynamics: insights from the general population and the athletic cohort // *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. – 2023. – Vol. 10, no. 12. – Article 480. – DOI: 10.3390/jcdd10120480.
 10. Shkolnikova M.A., Skopinov S.A., Kazakova E.V., Gomonov A.V., Skopinov A.A. Hemodynamic response in athletes with different physical performance when performing submaximal test PWC170 // *Aktual'ni problemy suchasnoyi medytsyny: Visnyk Ukrayins'koyi medychnoyi stomatolohichnoyi akademiyi*. – 2023. – Vol. 23, no. 1. – P. 98-104. – DOI: 10.31718/2077-1096.23.1.98.
 11. Wu Y., Song T., Xu G. Changes of muscle oxygenation and blood lactate concentration of swimming athletes during graded incremental exercise // *Frontiers of Optoelectronics*. – 2015. – Vol. 8. – P. 451-455. – DOI: 10.1007/s12200-015-0532-9.
 12. Zhang Y., Qi L., van de Vosse F., Du C., Yao Y., Du J., Wu G., Xu L. Recovery responses of central hemodynamics in basketball athletes and controls after the Bruce test // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – Article 593277. – DOI: 10.3389/fphys.2020.593277.
- REFERENCES:**
1. Boone J., Barstow T.J., Celie B., Prieur F., Bourgois J. The interrelationship between muscle oxygenation, muscle activation, and pulmonary oxygen uptake to incremental ramp exercise: influence of aerobic fitness // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2016. – Vol. 41, no. 1. – P. 55-62. – DOI: 10.1139/apnm-2015-0261.
 2. Caselli S., Vaquer Segui A., Quattrini F., Di Giacinto B., Milan A., Assorgi R., Verdile L., Spataro A., Pelliccia A. Upper normal values of blood pressure response to exercise in Olympic athletes // *American Heart Journal*. – 2016. – Vol. 177. – P. 120-128. – DOI: 10.1016/j.ahj.2016.04.020.
 3. Corrado D., Pelliccia A., Heidbuchel H., Sharma S., Link M., Basso C., Biffi A., Buja G., Delise P., Gussac I., Anastasakis A., Borjesson M., Bjørnstad H.H., Carré F., Deligiannis A., Dugmore D., Fagard R., Hoogsteen J., Mellwig K.P., Panhuyzen-Goedkoop N., Solberg E., Vanhees L., Drezner J., Estes N.A. 3rd, Iliceto S., Maron B.J., Peidro R., Schwartz P.J., Stein R., Thiene G., Zeppilli P., McKenna W.J. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete // *European Heart Journal*. – 2010. – Vol. 31, no. 2. – P. 243-259. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehp473.
 4. Kime R., Katsumura T., Hamaoka T., Osada T., Sako T., Murakami M., Bae S.Y., Toshinai K., Haga S., Shimomitsu T. Muscle reoxygenation rate after isometric exercise at various intensities in relation to muscle oxidative capacity // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 2003. – Vol. 530. – P. 497-507. – DOI: 10.1007/978-1-4615-0075-9_47.
 5. Leddy J.J., Izzo J.L. Hypertension in athletes // *Journal of Clinical Hypertension*. – 2009. – Vol. 11, no. 4. – P. 226-233. – DOI: 10.1111/j.1751-7176.2009.00100.x.
 6. Montero D., Diaz-Cañestro C., Lundby C. Endurance training and $\dot{V}O_2\text{max}$: role of maximal cardiac output and oxygen extraction // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2015. – Vol. 47, no. 10. – P. 2024-2033. – DOI: 10.1249/MSS.0000000000000640.
 7. Palatini P. Haemodynamics of exercise testing and sports activities // In: Palatini P., Agabiti-Rosei E., Mancia G. (eds.) *Exercise, Sports and Hypertension*. – Cham: Springer, 2022. – P. 1-12. – DOI: 10.1007/978-3-031-07958-0_1.
 8. Perrey S., Ferrari M. Muscle oximetry in sports science: a systematic review // *Sports Medicine*. – 2018. – Vol. 48, no. 3. – P. 597-616. – DOI: 10.1007/s40279-017-0820-1.
 9. Pesova P., Jiravska Godula B., Jiravsky O., Jelinek L., Sovova M., Moravcova K., Ozana J., Gajdusek L., Miklik R., Sknouril L., Neuwirth R., Sovova E. Exercise-induced blood pressure dynamics: insights from the general population and the athletic cohort // *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. – 2023. – Vol. 10, no. 12. – Article 480. – DOI: 10.3390/jcdd10120480.
 10. Shkolnikova M.A., Skopinov S.A., Kazakova E.V., Gomonov A.V., Skopinov A.A. Hemodynamic response in athletes with different physical performance when performing submaximal test PWC170 // *Aktual'ni problemy suchasnoyi medytsyny: Visnyk Ukrayins'koyi medychnoyi stomatolohichnoyi akademiyi*. – 2023. – Vol. 23, no. 1. – P. 98-104. – DOI: 10.31718/2077-1096.23.1.98.
 11. Wu Y., Song T., Xu G. Changes of muscle oxygenation and blood lactate concentration of swimming athletes during graded incremental exercise // *Frontiers of Optoelectronics*. – 2015. – Vol. 8. – P. 451-455. – DOI: 10.1007/s12200-015-0532-9.
 12. Zhang Y., Qi L., van de Vosse F., Du C., Yao Y., Du J., Wu G., Xu L. Recovery responses of central hemodynamics in basketball athletes and controls after the Bruce test // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – Article 593277. – DOI: 10.3389/fphys.2020.593277.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Черепанов Вадим Сергеевич (Cherepanov Vadim Sergeevich) – аспирант; Южно-уральский государственный университет; 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: cherepanovvadim@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4243-6385

Аминов Альберт Сибгатуллович (Aminov Albert Sibagatulloevich) – кандидат биологических наук, доцент; Южно-уральский государственный университет; 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: aminovas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0440-6553

Бахарева Анастасия Сергеевна (Bakhareva Anastasia Sergeevna) – кандидат биологических наук, доцент; Южно-уральский государственный университет; 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: bakharevaas@susu.ru, ORCID: 0000-0003-0518-7751

Авторы внесли равноценный вклад в работу / The authors contributed equally to the work

- Поступила в редакцию 05 мая 2025 г.
- Принята к публикации 30 мая 2025 г.
- Submitted to the editorial board on May 05, 2025
- Accepted for publication May 30, 2025

Раскрытие информации о конфликте интересов / Disclosure of conflicts of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The author declare no conflict of interest

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Черепанов В.С. Реактивность сердечно-сосудистой системы, гемодинамические изменения и мышечная оксигенация у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании: обзор современных исследований / В.С. Черепанов, А.С. Аминов, А.С. Бахарева // Наука и спорт: современные тенденции. – 2025. – Т. 13, № 2 – С. 31-37. DOI: 10.36028/2308-8826-2025-13-2-31-37

FOR CITATION

Cherepanov V.S., Aminov A.S., A.S. Bakhareva A.S. Cardiovascular reactivity, hemodynamic changes and muscle oxygenation in cyclic sports athletes during exercise testing: a review of recent studies. Science and sport: current trends, 2025, vol. 13, no. 2. – pp. 31-37. DOI: 10.36028/2308-8826-2025-13-2-31-37

