Дата публикации: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_29
УДК 612; 796.92

Publication date: 01.09.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_29
UDC 612; 796.92

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ СПОРТСМЕНОВ ВИДОВ СПОРТА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ ЛЫЖНЫХ ГОНОК)

В.С. Нопина[1,2], О.Н. Акимкина[2], А.С. Нопин[3], В.В. Корнева[2]

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

[3]Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа № 1», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Под влиянием различных тренировочных воздействий, направленных на развитие выносливости, в организме спортсмена происходит ряд функциональных изменений, которые затрагивают почти все органы и системы организма. Целью работы явился аналитический обзор современных исследований, характеризующих функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем лыжников-гонщиков. Исследование показало, что российские и зарубежные ученые поднимают вопросы, касающиеся большой доли участия как аэробных, так и анаэробных источников в энергообеспечении в лыжных гонках, а следовательно, и их направленного развития в ходе подготовки к соревнованиям. В изученных статьях представлены данные, демонстрирующие высокие функциональные возможности систем кровообращения и дыхания высококвалифицированных лыжников, которые являются следствием специфической адаптации к тренировочным и соревновательным нагрузкам в лыжных гонках. В большей степени функциональные возможности организма спортсменов-лыжников проявляются при тестировании с помощью специальных нагрузочных тестов на эргометрах. Ученые выявили также негативные последствия занятий лыжными гонками, которые в будущем могут сказаться на здоровье: это высокие значения диастолического артериального давления у спортсменов, имеющих высокий уровень тренированности. Высокоинтенсивные нагрузки и холодный воздух являются негативным фактором воздействия на дыхательную систему, провоцирующим развитие астмы.

Ключевые слова: физиология кровообращения, физиология дыхания, потребление кислорода, лыжные гонки, адаптация, функциональные возможности, заболеваемость астмой.

FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR AND RESPIRATORY SYSTEMS OF ENDURANCE SPORTS ATHLETES (USING THE EXAMPLE OF SKI RACING)

V.S. Nopina[1,2], O.N. Akimkina[2], A.S. Nopin[3], V.V. Korneva[2]

[1]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

[2]FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, Russia

[3]Secondary School No 1, Essentuki, Russia

Abstract. Under the influence of various training effects aimed at developing endurance, a number of functional changes occur in an athlete's body, which affect almost all organs and systems of the body. The aim of the work was an analytical review of modern studies characterizing the functional state of the cardiovascular and respiratory systems of ski racers. The study showed that Russian and foreign scientists raise questions concerning the large share of participation of both aerobic and anaerobic sources in energy supply in ski racing, and consequently, their directed development in the course of preparation for competitions. The studied articles present data demonstrating high functional capabilities of circulatory and respiratory systems of elite skiers,

which are the consequence of specific adaptation to training and competitive loads in ski racing. To a greater extent, the functional capabilities of a skier's body are manifested during testing with the help of special load tests on exercise machines. Researchers have also identified negative consequences of ski racing that may affect health in the future: high diastolic blood pressure values in highly trained athletes. High-intensity exercise and cold air have negative effects on the respiratory system, triggering the development of asthma.
Keywords: physiology of blood circulation, physiology of respiration, oxygen consumption, ski racing, adaptation, functional capabilities, incidence of asthma.

Введение. В каждом виде спорта успеха добивается тот, кто по своим морфофункциональным показателям вписывается в некую модель: по росту, весу, составу мышечных волокон, кардио-респираторным данным, гормональному «зеркалу» и другим характеристикам [1]. В то же время под влиянием различных тренировочных воздействий, направленных на развитие выносливости, в организме спортсмена происходит ряд функциональных изменений, которые затрагивают почти все органы и системы организма [2]. Лыжные гонки являются одним из наиболее популярных зимних видов в России, им занимаются более 1 млн. человек [3].

Лыжные гонки являются видом спорта, в котором одним из ведущих двигательных качеств является выносливость, а функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем спортсменов выходят на свои максимальные возможности проявлений [4].

В связи с этим, в данном обзоре функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем спортсменов видов спорта на выносливость будет рассмотрено на примере лыжных гонок.

Целью данной работы явился аналитический обзор современных исследований, характеризующих функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем лыжников-гонщиков.

Методы и организация исследования. Проведен теоретический анализ научных публикаций российских и зарубежных ученых по данным электронных баз PubMed, Scopus, eLibrary, Google scholar, КиберЛенинка по вопросам, характеризующим функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем лыжников-гонщиков. Всего проанализированы 22 источника.

Источники информации и стратегии поиска. Поиск литературы производили по следующим ключевым словам: лыжные гонки, физиология, cross-country skiing physiology, ski racers physiology, cardiovascular system skiing, respiratory system skiing. При анализе предпочтительно рассматривались исследования за последние ~5 лет, языковой барьер не выставляли.

Результаты исследования и их обсуждение. *Общая характеристика и механизмы энергообеспечения мышечной деятельности по потреблению кислорода на разных дистанциях в лыжных гонках.* Лыжные гонки имеют свои специфические физиологические особенности и требования, предъявляемые к организму спортсмена. При передвижении на лыжах вовлекаются в работу большие группы мышц. При передвижении на лыжах в работу помимо мышц нижних конечностей вовлекаются мышцы верхних конечностей и туловища [4]. Также установлено, что процент объема митохондрий в мышцах элитных лыжников и количество капилляров на площадь волокон одинаковы в руках и ногах, несмотря на наличие относительно большего количества волокон 2 типа в руках [5]. Ряд практиков и научных работников в области лыжного спорта, учитывая сильную пересеченность рельефа тренировочных и соревновательных трасс, относят лыжные гонки к работе с переменной мощностью [6].

Анализ скорости и уровня потребления кислорода лыжников на различных участках трассы показывает, что максимальный

дефицит кислорода больше на подъемах, чем на равнинных участках, что возможно из-за задействования в работе большей мышечной массы и/или особенностей биомеханики движений в отдельных лыжных ходах [7].

Вовлечение в работу большинства мышц сказывается на деятельности систем дыхания и кровообращения, работоспособность которых играет значительную роль в обеспечении эффективности данной физической нагрузки [6].

Аэробное энергообеспечение во время лыжных соревнований составляет 70-75% в спринте и 85-95% на длинных дистанциях. Лыжники-гонщики часто принимают стратегию с более высокой интенсивностью прохождения подъемов, при этом интенсивность работы значительно выше, чем требуется, для того, чтобы достигнуть максимального потребления кислорода (МПК) (анаэробная доля достигает до 40% во время спринтерских гонок и 10÷20% на длинных дистанциях) [8].

Как показывают исследования, стратегии темпа элитных лыжников во время соревнований продолжительностью около 30 минут включают повторяющиеся периоды, когда потребность в кислороде превышает пиковое потребление кислорода, но в каждом из этих периодов происходит лишь небольшое накопление кислородного долга. Следовательно, различные энергетические системы работают согласованно, чтобы удовлетворить быстрые изменения метаболической мощности во время физической работы на выносливость [9]. При прохождении дистанции спортсмен может выполнять работу малой, умеренной, большой и субмаксимальной мощности [10].

Ученые из Университета Зальцбурна, проведя исследование интенсивности нагрузки у участников лыжного марафона «Васалопет», выяснили, что почти 85% времени гонки лыжниками уровня национальных команд было пройдено в зонах интенсивности нагрузки 2-4, в то время как лыжники-любители имели заметно большую долю нагрузки в зоне 2 по сравнению с элитными лыжниками (39% против 23%), но, напротив, явно меньшее количество времени гонки проводили в зонах высокой интенсивности (зоны 4 и 5: 24% против 46%) [8].

Функциональные возможности и адаптация систем кровообращения и дыхания лыжников-гонщиков. В связи с высокой долей аэробного энергообеспечения лыжники-универсалы, соревнующиеся в олимпийских дисциплинах, известны своим высоким МПК, а также высокими пиковыми показателями потребления кислорода и валовой эффективностью, специфичными для конкретного лыжного хода [6].

МПК у лыжников составляет 80-90 мл/кг/мин для мужчин и 70-80 мл/кг/мин для женщин. Абсолютные значения МПК, превышающие 7 л/мин, были зарегистрированы среди нескольких медалистов-мужчин. Скорость легочной вентиляции в лыжной гонке может достигать 250 л/мин, минутный объем крови – 9 л, сердечный выброс – >40 л/мин$^{-1}$, ударный объем крови –>200 мл [6].

У спортсменов-лыжников, как правило, наблюдается брадикардия, однако имеются данные о том, что показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС) в положении лежа (лЧСС) и при ортостазе (оЧСС) достоверно коррелируют с интенсивностью тренировки (p=0,01). Измерения ЧСС и артериального давления (АД) представляют собой прогнозируемые параметры функциональной адаптации на разных этапах тренировки. Установлена связь между данными лЧСС, оЧСС, средним АД и способностью спортсменов больше работать в зонах меньшей интенсивности во время физической нагрузки. Однако подтверждений того, что показатель среднего АД является индикатором сердечно-сосудистого стресса после высокоинтенсивных тренировок, не выявлено [9].

В позднем подростковом периоде и более старшем возрасте лыжники как мужского, так и женского пола отличаются от своих сверстников большей величиной потребления кислорода, вентиляцией легких и меньшими ЧСС и энергетическими затратами при максимальной нагрузке, а также нагрузках, соответствующих

интенсивности вентиляционного анаэробного и аэробного порога [11].

Выявить особенности функциональных показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем лыжников позволяют специальные тесты с максимальной и стандартной нагрузкой, проводимые на разных видах эргометров. С помощью проведения велоэргометрического теста «до отказа» с использованием эргоспирометрической системы Oxycon Pro (Erich Jaeger) в режиме breath by breath со ступенчатым возрастанием нагрузки (interval protocol) было выявлено, что спортсмены с большей степенью тренированности в момент завершения максимального теста имеют меньшие значения ЧСС и систолического АД, но более высокие показатели диастолического АД и потребления кислорода. Вызванное физическими нагрузками повышенное АД связано с эндотелиальной дисфункцией [12] и имеет в 5-10 раз более высокие темпы перехода к гипертензии в будущем, а также является независимым фактором риска развития сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний [13].

Объемные показатели легочной вентиляции спортсменов циклических видов спорта, в том числе и лыжников (жизненная емкость легких (ЖЕЛ), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за 1 первую секунду (ОФВ1)) отражают высокий уровень развития и, соответственно, большой функциональный резерв системы внешнего дыхания [14].

Особенности реакций центральной гемодинамики на нагрузку у лыжников разной квалификации значимо отличаются. Так, учеными из Сыктывкара была определена динамика восстановления ЧСС и потребления кислорода у лыжников-гонщиков первого разряда, кандидатов и мастеров спорта после максимальной нагрузки на велоэргометре. После выполнения пиковой нагрузки на первой минуте восстановительного периода у лыжников-гонщиков разной квалификации отсутствуют статистически значимые различия для ЧСС, но имеются различия ($p<0,001$) для потребления кислорода. Быстрее всего восстановление показателей происходит в первые три минуты после велоэргометрической нагрузки, затем скорость восстановления замедляется в 2-7 раз для ЧСС и в 3-4 раза для потребления кислорода. Следовательно, авторы показали различия в восстановлении функционального состояния спортсменов разной квалификации: наиболее быстро и полно восстанавливаются мастера спорта, а наиболее медленно и не столь эффективно – лыжники первого разряда [15].

Различия по обеспечению мышечной работы кислородом у лыжников разной квалификации выявлены и в работе зарубежных специалистов, которые проводили исследование на лыжероллерном тредмиле. Основные различия в реакции на нагрузку у лыжников, соревнующихся на региональном и национальном уровне, заключались в более низкой кардиореспираторной и метаболической реакции на субмаксимальных скоростях, а также в увеличении времени работы в тесте до наступления утомления. Основные различия заключаются в эффективности и экстракции кислорода небольшой мышечной массой между лыжниками регионального и национального уровня. Соотношение пикового потребления кислорода и МПК, по-видимому, приближается к >95% у лыжников более высокого уровня, которые применяют большие объемы нагрузок с преимущественной нагрузкой на верхние конечности и туловище [16].

Аэробные физические тренировки, выполняемые лыжниками-гонщиками, влияют на ремоделирование сосудов, способствуя ангиогенезу, положительно воздействуя на количество капилляров и, следовательно, на площадь газообмена, одновременно улучшая диффузию кислорода и увеличивая тонус вагуса [9].

Лыжные гонки и заболеваемость астмой. Лыжные гонки отличаются от большинства других видов спорта тем, что спортивные нагрузки на тренировках и

соревнованиях интенсивны и выполняются при низких температурах, включая вдыхание больших объемов холодного и сухого воздуха в течение нескольких часов в неделю и нескольких месяцев в году. Во время физической нагрузки дыхательные пути реагируют бронходилятацией и бронхоконстрикцией после нагрузки или во время нагрузки, если она очень продолжительна. Было замечено, что существует рефрактерный период, вызванный первоначальной физической нагрузкой, разминкой перед соревнованиями, которая обеспечивает защиту от бронхоконстрикции во время соревнований. Вариабельность возникновения гиперреактивности бронхов и отсутствие рефрактерности указывают на бронхоконстрикторную дисфункцию, отличную от астмы [17].

По данным мета-анализа, распространенность астмы, диагностированной врачом по данным самооценки, у лыжников составляет 21% [18], среди шведских лыжников и биатлонистов – 27% [19].

Возраст начала астмы был выше у лыжников, чем у лиц, не занимающихся лыжными гонками и болеющих астмой. Распространенность использования лекарств от астмы у лыжников-гонщиков составляет в среднем 23% [18]. В другом исследовании среди элитных лыжников подросткового возраста показано, что распространенность астмы составляет 27% (30% у женщин и 20% у мужчин) при среднем возрасте начала астмы 12 лет [20].

Характерными морфологическими изменениями слизистой оболочки бронхов при бронхиальной астме являются повреждение эпителия, ремоделирование дыхательных путей с утолщением базальной мембраны бронхов за счет отложения тенасцина, белка внеклеточного матрикса. У подростков-лыжников с установленной астмой, по сравнению со здоровыми подростками (контрольная группа), наблюдалась легкая и умеренная степень макроскопического воспаления проксимальных дыхательных путей с увеличением процентного содержания лимфоцитов и тучных клеток в жидкости бронхоальвеолярного лаважа и образцах крови при эндобронхиальной биопсии. Также было замечено, что количество Т-лимфоцитов, макрофагов и эозинофилов, а также экспрессия тенасцина у них были значительно выше по сравнению с контролем. Эти воспалительные изменения происходили независимо от симптомов астмы, гиперреактивности или атопии [20].

Ученые отмечают, что при медицинском наблюдении, мониторинге пиковой скорости потока и соответствующем использовании бронхолитических ингаляторов пиковая скорость потока может быть стабилизирована и даже улучшена во время тренировок в холодную погоду. Было высказано предположение, что использование этих мер не должно ограничивать занятия лыжными гонками у подростков и молодых людей, страдающих астмой [20].

В статье проведен обзор современных исследований российских и зарубежных ученых, представляющих данные о функциональном состоянии сердечно-сосудистой и дыхательной деятельности лыжников-гонщиков как представителей вида спорта на выносливость. В обзоре представлены данные:

- по общей характеристике и механизмам энергообеспечения мышечной работы на разных дистанциях в лыжных гонках;
- о функциональных возможностях и адаптации систем кровообращения и дыхания лыжников-гонщиков;
- о механизмах и причинах заболеваемости астмой при тренировках в лыжных гонках.

Ученые поднимают вопросы, касающиеся большой доли участия как аэробных, так и анаэробных источников в энергообеспечении в лыжных гонках, а следовательно, и их направленного развития в ходе подготовки к соревнованиям. Представлены данные, демонстрирующие высокие функциональные возможности систем кровообращения и дыхания высококвалифицированных

лыжников, которые являются следствием специфической адаптации к тренировочным и соревновательным нагрузкам в лыжных гонках. В большей степени функциональные возможности организма спортсменов-лыжников проявляются при тестировании с помощью специальных нагрузочных тестов на эргометрах. Однако имеются и негативные последствия занятий лыжными гонками, которые в будущем могут сказаться на здоровье: это высокие значения диастолического АД у спортсменов, имеющих высокий уровень тренированности. Высокоинтенсивные нагрузки и холодный воздух являются негативным фактором воздействия на дыхательную систему, провоцирующим развитие астмы. В целом вопросы, касающиеся адаптации и реактивности систем дыхания и кровообращения у спортсменов при занятиях лыжными гонками и другими видами спорта на выносливость, являются актуальными для спортивной медицины и требуют дальнейшего и более глубокого изучения.

Заключение. Таким образом, характеризуя физиологические особенности современных лыжников-гонщиков, можно отметить следующие отличительные особенности. Лыжные гонки являются популярным и доступным в России зимним видом спорта, оказывающим закаливающие и оздоровительное воздействие, развивают функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем, общую выносливость, силовую выносливость, и улучшают физическую подготовленность (развивают все группы мышц верхней, нижней конечности и туловища).

Механизм энергообеспечения мышечной деятельности в лыжных гонках определяется длиной дистанции. На спринтерских дистанциях (до 2 км) и передвижении в подъем образование энергии осуществляется с помощью анаэробного гликолиза, на более длинных – с помощью окислительного фосфорилирования. Для эффективных стартовых ускорений необходимы скоростно-силовые качества (мощность), определяемые мощностью и емкостью фосфагенной энергетической системы. Следовательно, в процессе занятий лыжными гонками развиваются все энергетические системы. Прежде всего повышаются аэробные возможности организма, функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем, экономизация деятельности этих систем, окислительные способности работающих мышц. Эти качества наиболее развиты у высококвалифицированных спортсменов.

Однако, высокие физические нагрузки в современных лыжных гонках без достаточного восстановления могут способствовать развитию состояний перенапряжения и переутомления систем организма, обеспечивающих работоспособность (сердечно-сосудистой, дыхательной, мышечной), поэтому врачам по спортивной медицине, работающим со спортсменами-лыжниками, необходимо осуществлять текущий и этапный контроль состояния, включая в него диагностику состояния в покое, а также с помощью нагрузочных тестов на беговом тредмиле и других эргометрах (например, лыжероллерном).

Своевременный контроль состояния и организация восстановительных мероприятий будут способствовать повышению результативности спортсменов-лыжников и позволит предупреждать перенапряжение и переутомление.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корягина, Ю. В. Физиология силовых видов спорта: Учебное пособие / Ю. В. Корягина – Омск: СибГУФК, 2003. – 55 с.

2. Корягина, Ю. В. Современные тенденции в физиологии лыжных гонок (по материалам зарубежной литературы) / Ю. В. Корягина //

Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2015. – № 3. – С. 36-40.
3. Ширков, Ю. А. О развитии лыжных видов спорта в России / Ю. А. Ширков // Karelian Scientific Journal. – 2019. – Т. 8. – № 1(26). – С. 54-56. DOI: 10.26140/knz4-2019-0801-0015
4. Современная лыжная техника: сочетание мощности и экономичности (по данным зарубежной литературы) / Михалев В. И., Корягина Ю. В., Антипова О. С. [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – Т. 4. – № 122. – С. 132-139. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.04.122.p132-139.
5. The Muscle Fiber Profiles, Mitochondrial Content, and Enzyme Activities of the Exceptionally Well-Trained Arm and Leg Muscles of Elite Cross-Country Skiers / Ørtenblad N., Nielsen J., Boushel R. [et al] // Frontiers in Physiology. – 2018. – № 9. – P. 1031. DOI: 10.3389/fphys.2018.01031.
6. Sandbakk, Ø. A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing / Ø. Sandbakk, H. C. Holmberg // International journal of sports physiology and performance. – 2014. – Vol. 9. – № 1. – P. 117-121.
7. Losnegard, T. Energy system contribution during competitive cross-country skiing / T. Losnegard // European journal of applied physiology. – 2019. – Vol. 119. – № 8. – P. 1675-1690. DOI: 10.1007/s00421-019-04158-x.
8. Специальная работоспособность лыжников гонщиков: современные тенденции (по материалам зарубежной литературы) / Михалев В. И., Корягина Ю. В., Антипова О. С. [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – Т. 4. – № 122. – С. 139-144. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.04.122.p139-144.
9. Oxygen demand, uptake, and deficits in elite cross-country skiers during a 15-km race / Gløersen Ø. N., Gilgien M., Dysthe D. K. [et al] // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2020. – Vol. 52, № 4. – P. 983-992. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002209.
10.A Comparison of Double Poling Physiology and Kinematics Between Long-Distance and All-Round Cross-Country Skiers / Torvik P. Ø., Sandbakk Ø., van den Tillaar R. [et al] // Frontiers in Sports and Active Living. – 2022. – № 4. – P. 849731. DOI: 10.3389/fspor.2022.849731.
11.Talent Development in Young Cross-Country Skiers: Longitudinal Analysis of Anthropometric and Physiological Characteristics / Zoppirolli C., Modena R., Fornasiero A. [et al] // Frontiers in Sports and Active Living. – 2020. – № 2. – P. 111. DOI: 10.3389/fspor.2020.00111.
12.Exaggerated exercise blood pressure response and future cardiovascular disease / N. Tzemos, P. O. Lim, I. S. Mackenzie, T. M. MacDonald // The Journal of Clinical Hypertension. – 2015. – Vol. 17. – № 11. – P. 837-844. DOI: 10.1111/jch.12629.
13.Восстановление кардиореспираторной функции у лыжников-гонщиков разной квалификации после велоэргометрического теста «до отказа» / Н. Г. Варламова, И. О. Гарнов, Т. П. Логинова, Е. Р. Бойко // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук – 2020. – № 4. – С. 104-110. DOI: 10.26163/RAEN.2020.66.55.015.
14.Ерофеев Г. Г. Исследование индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от физического состояния / Г. Г. Ерофеев // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т. 10. – № 1. – С. 30-36. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.30.
15.Пантелеева, Н. И. Реполяризация желудочков сердца лыжников-гонщиков на разных этапах годичного тренировочного цикла / Н. И. Пантелеева, И. М. Рощевская // Физиология человека. – 2018. – Т. 44. – № 5. – С. 66-73. DOI: 10.1134/S0131164618050132.
16.Мальцева, Е. В. Характер сезонных изменений показателей системы транспорта кислорода и физической работоспособности у спортсменов-лыжников г. Ханты-Мансийска / Е. В. Мальцева // Научный медицинский вестник Югры. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 169-171. DOI: 10.25017/2306-1367-2019-19-2-169-171.
17. Asthma in competitive cross-country skiers: a systematic review and meta-analysis / Mäki-Heikkilä R., Karjalainen J., Parkkari J. [et al] // Sports Medicine. – 2020. – Vol. 50. – №11. – P. 1963-1981. DOI: 10.1007/s40279-020-01334-4.
18.High prevalence of exercise-induced laryngeal obstruction in a cohort of elite cross-country skiers / Irewall T., Bäcklund C., Nordang L. [et al] // Medicine and science in sports and exercise. – 2021. – Vol. 53. – № 6. – P. 1134. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002581.
19.Prevalence, age at onset, and risk factors of self-reported asthma among Swedish adolescent elite cross-country skiers / L. M. Eriksson, T. Irewall, A. Lindberg, N. Stenfors // Scandinavian journal of medicine & science in sports. – 2018. – Vol. 28. – № 1. – P. 180-186. DOI: 10.1111/sms.12879
20.Oliván-Gracia, S. Physiology, Asthma and Injuries in High-Performance Adolescent and Young Adult Cross-Country Skiers / S. Oliván-Gracia, G.

Oliván-Gonzalvo // International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies. – 2023. – Vol. 3. – № 6. – P. 124-128.

REFERENCES

1. Koryagina, Yu.V. Physiology of power sports: A textbook. Omsk: SibGUFK, 2003, p. 55. (in Russ.)
2. Koryagina, Yu.V. Modern trends in the physiology of ski racing (based on materials from foreign literature). *Exercise therapy and Sports Medicine*, 2015, no. 3, pp. 36-40. (in Russ.)
3. Shirkov V.A. The development of ski sports in Russia. *Karelian Scientific Journal*, 2019, vol. 8, no. 1(26), pp. 54-56. DOI: 10.26140/knz4-2019-0801-0015 (in Russ.)
4. Mikhalev V.I., Koryagina Yu.V., Antipova O.S., Ajkin V.A., Sukhinin E.M. Modern ski technique: combination of power and economy (according to foreign literature). *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2015, vol. 4, no. 122, pp. 132-139. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.04.122. p132-139 (in Russ.)
5. Ørtenblad N., Nielsen J., Boushel R., Söderlund K., Saltin B., Holmberg C.H. The Muscle Fiber Profiles, Mitochondrial Content, and Enzyme Activities of the Exceptionally Well-Trained Arm and Leg Muscles of Elite Cross-Country Skiers. *Frontiers in Physiology*, 2018, no. 9, p. 1031. DOI: 10.3389/fphys.2018.01031.
6. Sandbakk Ø., Holmberg H.C. A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *International journal of sports physiology and performance*, 2014, vol. 9, no. 1, pp. 117-121.
7. Losnegard T. Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European journal of applied physiology*, 2019, vol. 119, no. 8, pp. 1675-1690. DOI: 10.1007/s00421-019-04158-x.
8. Mikhalev V.I., Koryagina Yu.V., Antipova O.S., Ajkin V.A., Sukhinin E.M. Special performance of ski racers: current trends (according to foreign literature). *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2015, vol. 4, no. 122, pp. 139-144. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.04.122.c139-144 (in Russ.)
9. Gløersen Ø., Gilgien M., Dysthe D.K., Malthe-Sørenssen A., Losnegard T. Oxygen demand, uptake, and deficits in elite cross-country skiers during a 15-km race. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2020, vol. 52, no. 4, pp. 983-992. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002209.
10.Torvik P.Ø., Sandbakk Ø., van den Tillaar R., Talsnes R.K., Danielsen J. A Comparison of Double Poling Physiology and Kinematics Between Long-Distance and All-Round Cross-Country Skiers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2022, no. 4, p. 849731. DOI: 10.3389/fspor.2022.849731
11.Zoppirolli C., Modena R., Fornasiero A., Bortolan L., Skafidas S., Savoldelli A., Schena F., Pellegrini B. Talent Development in Young Cross-Country Skiers: Longitudinal Analysis of Anthropometric and Physiological Characteristics. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2020, no. 2, p. 111. DOI: 10.3389/fspor.2020.00111.
12.Tsemos N., Lim P.O., Mackenzie I.S., McDonald T.M. Exaggerated exercise blood pressure response and future cardiovascular disease. *The Journal of Clinical Hypertension*, 2015, vol. 17, no. 11, pp. 837-844. DOI: 10.1111/jch.12629.
13.Varlamova N.G., Garnov I.O., Loginova T.P., Bojko E.R. Restoration of cardiorespiratory function in ski racers of different qualifications after cycle ergometer test till athlete's failure. *Herald of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2020, no. 4, pp. 104-110. DOI: 10.26163/RAEN.2020.66.55.015 (in Russ.)
14.Erofeev G.G. Erofeev G.G. Skiers individual respiratory system characteristics depending on the physical condition. *Sports medicine: research and practice*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 30-36. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.30.
15.Panteleeva N.I., Roshchevskaya I.M. Ventricular repolarization of the heart of cross-country skiers at different stages of the annual training cycle. *Human Physiology*, 2018, vol. 44, no. 5, pp. 66-73. DOI: 10.1134/S0131164618050132 (in Russ.)
16.Mal'tseva E.V. Nature of seasonal changes in the indicators of the oxygen transport system and physical performance in skiers of Khanty-Mansiysk. *Nauchnyj meditsinskij vestnik Yugry*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 169-171. DOI: 10.25017/2306-1367-2019-19-2-169-171 (in Russ.)
17.Mäki-Heikkilä R., Karjalainen J., Parkkari J., Valtonen M., Lehtimäki L. Asthma in competitive cross-country skiers: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 2020, vol. 50, no. 11, pp. 1963-1981. DOI: 10.1007/s40279-020-01334-4
18.Irewall T., Bäcklund C., Nordang L., Ryding M., Stenfors N. High Prevalence of Exercise-induced Laryngeal Obstruction in a Cohort of Elite Cross-country Skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 2021, vol. 53, no. 6, p. 1134. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002581.
19.Eriksson L.M., Irevall T., Lindberg A., Stenfors N. Prevalence, age at onset, and risk factors of self-reported asthma among Swedish adolescent elite

cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2018, vol. 28, no. 1, pp. 180-186. DOI: 10.1111/sms.12879
20.Olivan-Gracia S., Olivan-Gonzalvo G. Physiology, Asthma and Injuries in High-Performance Adolescent and Young Adult Cross-Country Skiers. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 2023, vol. 3, no. 6, pp. 124-128.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Вероника Сергеевна Нопина – студент, ИКМ им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, e-mail: vernopina@yandex.ru.
Оксана Николаевна Акимкина – младший научный сотрудник центра медико-биологических технологий, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: randomrecords@yandex.ru.
Александр Сергеевич Нопин – ученик МБОУ Средняя Общеобразовательная школа № 1, Ессентуки, e-mail: nopin.alex@yandex.ru.
Виктория Витальевна Корнева – младший научный сотрудник центра медико-биологических технологий, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: korneva-tori@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Veronika S. Nopina – Student, N.V. Sklifosovskij Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: vernopina@yandex.ru.
Oxana N. Akimkina – Junior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: randomrecords@yandex.ru.
Aleksandr S. Nopin – Pupil, Secondary School No 1, Essentuki, e-mail: nopin.alex@yandex.ru.
Viktoria V. Korneva – Junior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: korneva-tori@mail.ru.

Для цитирования: Функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем спортсменов видов спорта на выносливость (на примере лыжных гонок) / В. С. Нопина, О. Н. Акимкина, А. С. Нопин, В. В. Корнева // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_29

For citation: Nopina V.S., Akimkina O.N., Nopin A.S., Korneva V.V. Functional state of the cardiovascular and respiratory systems of endurance sports athletes (using the example of ski racing). *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_29