

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

УДК: 796.92+616-072

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



Реакция кардиореспираторной системы лыжниц различной спортивной квалификации на максимальный велоэргометрический тест

И.О. Гарнов^{1,}, Т.П. Логинова¹, Е.Р. Бойко^{1,2}**¹ Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия**² ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», Сыктывкар, Россия*

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определение функциональных особенностей деятельности кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций в динамике выполнения максимального велоэргометрического теста.

Материалы и методы: обследованы 70 лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций, которые были разделены на три группы. В первую группу вошла 21 лыжница-гонщица спортивной квалификации первого взрослого разряда, во вторую — 25 кандидаток в мастера спорта, в третью группу — 24 спортсменки звания мастер спорта по лыжным гонкам. Спортсменки выполняли ступенчатый велоэргометрический тест «до отказа» с использованием эргоспирометрической установки «Охузон Pro».

Результаты: наблюдались статистически значимые различия показателей пульса, потребления кислорода, кислородного пульса в динамике выполнения тестовой нагрузки между группами спортсменок различной квалификации.

Заключение. Было показано влияние спортивной квалификации на физиологические параметры при максимальном тестировании: у спортсменок первой группы выполнение нагрузки происходит за счет напряжения сердечно-сосудистой системы, а в группе квалифицированных лыжниц — за счет улучшения механизма доставки кислорода.

Ключевые слова: лыжницы-гонщицы, максимальный велоэргометрический тест, кардиореспираторная система, спортивная квалификация, максимальное потребление кислорода

Благодарности: исследования проведены в рамках НИР ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Физиолого-биохимические механизмы устойчивости организма человека и животных к факторам Севера и физическим нагрузкам, способы ее повышения и прогностической оценки» (FUUU-2022-0063, № НИОКТР 122040100039-4).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гарнов И.О., Логинова Т.П., Бойко Е.Р. Реакция кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций на максимальный велоэргометрический тест. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):20–29. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

Поступила в редакцию: 16.02.2023

Принята к публикации: 27.11.2023

Online first: 21.12.2023

Опубликована: 28.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

Response of cardiorespiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels

Igor O. Garnov^{1,*}, Tatyana P. Loginova¹, Evgeny R. Boyko^{1,2}

¹ Institute of Physiology of the Komi Science Center of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Syktyvkar, Russia

² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

Objective: to estimate the functional features of the cardiorespiratory system of female cross-country skiers with different skills levels at the maximal bicycle ergometer test.

Material and methods: 70 female cross-country skiers were divided into three groups. The first group included 21 cross-country skiers with first adult sporting rank, the second — 25 candidates in master of sports, the third group — 24 sport masters in cross-country skiing. Maximal exercise tests were used to determine cardiorespiratory fitness via spiroergometric system «Oxycon Pro» (Jaeger, Hoechberg, Germany).

Results: The most notable differences were observed between the first-class and the masters of the sports groups. In the first-class group the heart rate during the maximal exercise test was, on average, 11 beats/min higher than in the master of sports group ($p < 0.05$), and the oxygen consumption at the anaerobic threshold was, on average, lower by 7.7 ml/min/kg ($p < 0.05$) when comparing the same groups.

Conclusion: The influence of skills levels on physiological parameters at maximal bicycle ergometer test was shown. The capacity in the first group occurs due to cardiovascular system tension, and the same in the group high qualification skiers happen due to the mechanisms of oxygen transport development.

Keywords: cross-country female skiers, maximal bicycle ergometer test, cardiorespiratory system, maximal oxygen consumption

Acknowledgments: The study was carried out as part of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences project “Physiological and biochemical mechanisms of resistance of the human and animal body to northern factors and physical stress, methods of increasing it and prognostic assessment” (FUUU-2022-0063, No. NIOKTR 122040100039-4).

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Garnov I.O., Loginova T.P., Boyko E.R. Response of cardiorespiratory system during maximal exercise cycle ergometer test in women cross-country skiers with different skills levels. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):20–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.6>

Received: 16 February 2023

Accepted: 27 November 2023

Online first: 21 December 2023

Published: 28 December 2023

*Corresponding author

1. Введение

Лыжные гонки относятся к одним из наиболее требовательных к функциональным возможностям кардиореспираторной системы (КРС) зимних видов спорта. Физиологические запросы, предъявляемые организму в лыжных гонках, требуют от него высоких значений максимального потребления кислорода (МПК) и анаэробных порогов, которые определяют спортивную результативность [1, 2]. Тренировочный процесс (ТП) лыжниц-гонщиц включает в себя длительные интенсивные и объемные по циклической нагрузке учебно-тренировочные занятия (УТЗ), которые необходимо планировать и реализовывать в соответствии с особенностями онтогенеза и спортивной квалификации [3, 4]. В свою очередь, функциональный мониторинг, используемый для получения срочной информации о состоянии спортсменки, может помочь тренерскому штабу своевременно вносить коррективы как в объемы средств подготовки, так и интенсивность нагрузок. Такие показатели КРС, как потребление кислорода (ПК), частота сердечных сокращений (ЧСС) и частота дыхания (ЧД),

являются удобными маркерами переносимости нагрузки на УТЗ для спортсменок различных спортивных квалификаций. В доступных источниках представлено недостаточно информации о деятельности КРС во время проведения максимального велоэргометрического теста (ВЭТ) у лыжниц-гонщиц разных спортивных квалификаций, что определило актуальность нашего исследования, основной целью которого стало определение функциональных особенностей деятельности кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц различных спортивных квалификаций во время выполнения максимального велоэргометрического теста.

2. Материалы и методы исследования

Исследование было проведено в конце подготовительного периода ТП (август — сентябрь) в отделе экологической и медицинской физиологии Института физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Все тестирования проводились в помещении с температурой

воздуха в пределах $23 \pm 1,5$ °C с 9:30 до 12:30 в будние дни (для исключения влияния циркадных ритмов).

Всего в исследовании приняли участие 376 лыжниц-гонщиц различной спортивной квалификации, которые выполняли ВЭТ «до отказа» для определения МПК. Для исключения влияния интенсивности максимальной выполненной нагрузки на показатели КРС, из числа обследованных были выбраны только те, которые закончили ВЭТ на определенной ступени нагрузки — 280 Вт. Кроме того, число спортсменок, которые закончили нагрузку при данной мощности, было примерно одинаковым во всех квалификациях, что и повлияло на выбор именно этого диапазона нагрузки.

Характеристика участников исследования

В итоговую выборку вошли 70 лыжниц, которые были разделены на три группы. В первую группу вошла 21 девушка первого спортивного разряда (I взр.), во вторую группу вошли 25 лыжниц — кандидатов в мастера спорта (КМС), а в третью группу — 24 лыжницы, имеющие звание «мастер спорта России» (МС). Спортсменки являлись действующими членами сборных команд Республики Коми и России по лыжным гонкам, постоянно проживали на европейском Севере (62° С. ш., 51° в. д.) и имели спортивное амплу — универсал.

При проведении обследования группы спортсменок не учитывали день овуляторно-менструального цикла (ОМЦ), поскольку, по данным литературы, фаза ОМЦ не влияет на показатели КРС при физической нагрузке либо оказывает незначительное влияние [5, 6].

Длину и массу тела спортсменок измеряли с помощью медицинского весоростомера, индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали по формуле Кетле.

Тестирование физической работоспособности

Лыжницы выполняли ВЭТ для определения МПК с использованием системы Oxycon Pro (Erich Jaeger, Германия) в режиме breath-by-breath со ступенчатым возрастанием нагрузки, начиная с 80 Вт и усреднением показателей по 15-секундным отрезкам, как описано в ранее проведенных исследованиях [7]. Протокол тестирования включал в себя следующую последовательность действий: две минуты в покое лежа, две минуты в покое сидя на велоэргометре, одна минута педалирования без нагрузки с частотой 60 об/мин, ступенчато повышающаяся нагрузка (на 40 Вт каждые две минуты) и пятиминутное восстановление после окончания теста. Респираторный порог анаэробного обмена (ПАНО) определяли по достижению дыхательным коэффициентом единицы [7].

Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным этическим комитетом ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар (протокол от 15.11.2022 г.). Каждый участник исследования

представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов была проведена с использованием программ Statistica (версия 8.0, Statsoft Inc.). Для расчета статистической значимости различий между группами применялся непараметрический критерий Краскела — Уоллиса. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Данные, полученные в ходе исследования, представлены в виде медианы, 25-го и 75-го перцентиля (Me (25%; 75 %)).

3. Результаты исследования

Самыми «возрастными» спортсменками являлись представительницы третьей группы. Аналогичные различия наблюдались для показателя спортивного стажа — он статистически значимо увеличивался по мере повышения спортивного мастерства. Антропометрические показатели (длина и масса тела, ИМТ) имели обратную динамику и уменьшались от первой к третьей группе (табл. 1).

Во время проведения тестирования ЧСС у лыжниц первой группы была статистически значимо выше по сравнению с участницами из второй (в среднем на 6 уд/мин при педалировании без нагрузки на мощности 160–280 Вт) и третьей (в среднем на 11 уд/мин, при педалировании без нагрузки и на всех этапах тестирования) групп (рис. 1). Во второй группе по сравнению с третьей ЧСС была выше при нагрузках в диапазоне от 120 до 280 Вт. В период постнагрузочного восстановления самая высокая ЧСС также была у лыжниц из первой группы. Разница ЧСС к концу первой минуты восстановления между спортсменками первой группы и второй и третьей групп составила 6 и 7,3 % соответственно, а на пятой минуте — 6,5 и 10,7 % соответственно. В среднем разница в ЧСС составляла 10 уд/мин в течение всего периода восстановления.

У обследованных спортсменок ЧД статистически значимо различалась только в состоянии покоя лежа — у спортсменок второй группы наблюдалось более высокое значение ЧД по сравнению с первой и третьей группами ($p < 0,05$). На остальных этапах тестирования отличий выявлено не было.

Показатели дыхательного объема (ДО) у лыжниц третьей группы были статистически значимо выше на этапе нагрузки 240 Вт по сравнению с лыжницами из первой и второй групп, и на первой минуте восстановления по сравнению с спортсменками второй группы (рис. 2).

По показателям минутного объема дыхания (МОД) между первой и второй группами отсутствовала статистическая значимость. У спортсменок первой группы по сравнению со спортсменками третьей группы было

Таблица 1

Характеристики исследуемых групп (Me (25 %; 75 %))

Table 1

Characteristics of female athletes (Me (25 %; 75 %))

Показатели	I группа	II группа	III группа
Возраст, лет	17,5 (16,0; 19,0)	19,0 (17,0; 20,0)	23,0 (21,0; 24,5)*
Спортивный стаж, лет	8,0 (6,0; 9,0)	9,0 (7,0; 10,0)*	13,0 (12,0; 16,2)*#
Длина тела, см	167,0 (165,5; 168,5)	166,0 (163,5; 175,0)	165,0 (164,7; 167,0)*
Масса тела, кг	63,3 (60,7; 65,0)	60,8 (58,3; 65,0)	56,9 (55,2; 60,2)*#
ИМТ, м ²	22,4 (21,4; 23,1)	21,5 (21,1; 22,3)	20,4 (20,2; 21,7)*#

Примечание: данные представлены в виде медианы и 25 % и 75 %;

* — статистическая значимость между первой и второй–третьей группами;

— статистическая разница между второй и третьей группами (здесь и далее в таблицах).

Note: data are presented as median and 25 % and 75 %;

* — statistical difference between the first and second–third groups;

— statistical difference between the second and third groups (here and in other tables).

отмечено более высокое значение МОД на нагрузке 120 Вт ($p < 0,05$), а также на первой минуте восстановления ($p < 0,04$). Между второй и третьей группами отсутствовали статистически значимые различия по показателю МОД.

Показатели относительного ПК/кг у обследованных лыжниц первой группы относительно второй были статистически значимо ниже только на этапах восстановления (рис. 3). По сравнению с третьей группой ПК/кг в первой группе был ниже на нагрузке 80–160 Вт и в период восстановления. Во второй группе более низкие значения ПК/кг по сравнению с третьей наблюдались на нагрузке 80–240 Вт и в период восстановления.

Кислородный пульс (КП) у обследованных спортсменок первой группы был ниже, чем у спортсменок третьей группы на этапах педалирования без нагрузки, на нагрузке 80–200 Вт и на первой минуте восстановления (рис. 4). У спортсменок второй группы по сравнению с третьей КП был статистически значимо ниже на нагрузке 120 Вт, а также на 3–5-й минутах восстановления.

Важным аспектом оценки функциональных возможностей спортсмена является анализ показателей на этапах достижения вентилаторного порога анаэробного обмена (ПАНО) и максимального потребления кислорода (МПК). В отношении ЧСС можно отметить, что ПАНО у лыжниц третьей группы наблюдается при более низкой ЧСС — в среднем она была на 1,2% ниже, чем у спортсменок первой и второй групп. В момент наступления МПК у лыжниц третьей группы также наблюдается более низкое значение ЧСС. На ПАНО МОД ниже в первой группе по сравнению с третьей, а показатель ПК/кг на ПАНО было меньше в первой и второй группах по сравнению с третьей.

Самое большее значение МПК было отмечено в третьей группе, а самое низкое — в первой группе. В момент

наступления МПК ЧСС была статистически значимо больше в первой группе по сравнению со второй и третьей, а также во второй по сравнению с третьей группой. Показатель МОД в момент МПК в первой группе был ниже, чем в третьей (табл. 2).

4. Обсуждение

Антропометрические характеристики лыжниц первого взрослого разряда были ниже по сравнению с аналогичными показателями, ранее описанными в научной литературе [8]. Эти же показатели лыжниц самой высокой квалификации (МС) были меньше, чем у менее квалифицированных спортсменок и были сопоставимы по длине тела с ведущими российскими лыжницами [8]. Масса тела, длина тела и ИМТ у участниц исследования статистически значимо снижались от первой к третьей группе. У обследованных ранее аналогичных по квалификации лыжников мужского пола зависимость между квалификацией и антропометрическими характеристиками была обратной [11]. Таким образом, можно предположить, что в отличие от мужчин вклад силового компонента (увеличения мышечной массы) не является определяющим для повышения спортивной квалификации у женщин.

В лыжных гонках ТП вызывает структурную и функциональную адаптацию КРС, которая варьируется в зависимости от тренировочного стажа. В покое у МС, имеющих самый большой стаж занятий, отмечена брадикардия, характерная для хорошо тренированных спортсменов. Это может быть связано с тем, что длительные и объемные по циклической нагрузке УТЗ вызывают повышение парасимпатического тонуса и эксцентрическую гипертрофию миокарда [10].

Изменение значений ЧСС в динамике нагрузочного тестирования и периода восстановления

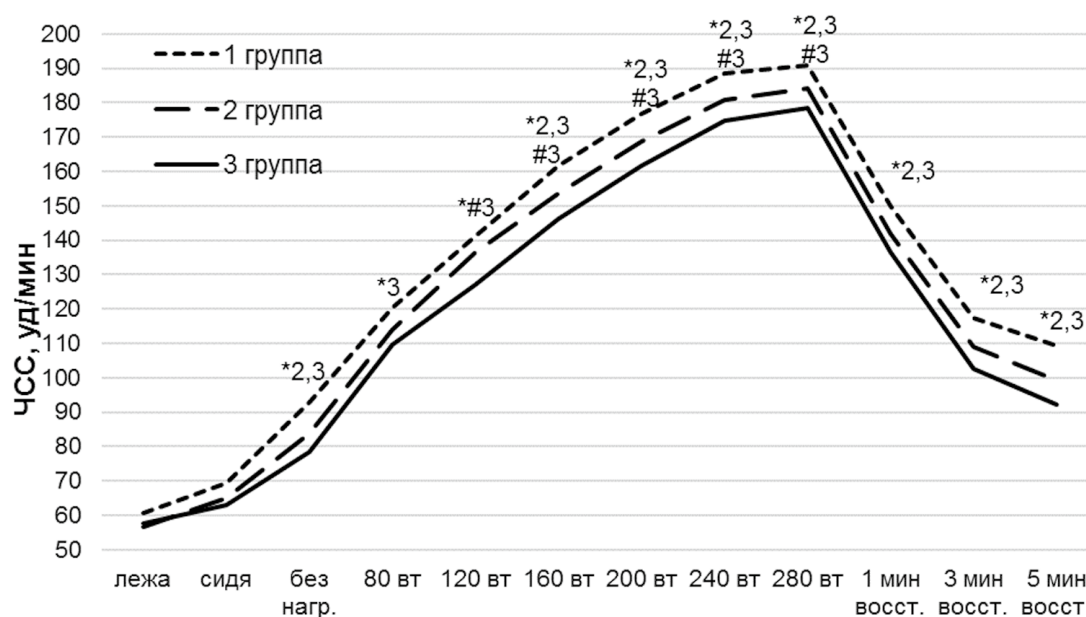


Рис. 1. Динамика частоты сердечных сокращений у лыжниц различной спортивной классификации
Примечание: * — статистическая значимость между первой и второй–третьей группами; # — статистическая разница между второй и третьей группами (здесь и далее в рисунках).

Fig. 1. Dynamics of heart rate in the examined female skiers.

Note: * — statistical difference between the first and second–third groups; # — statistical difference between the second and third groups (here and other diagrams).

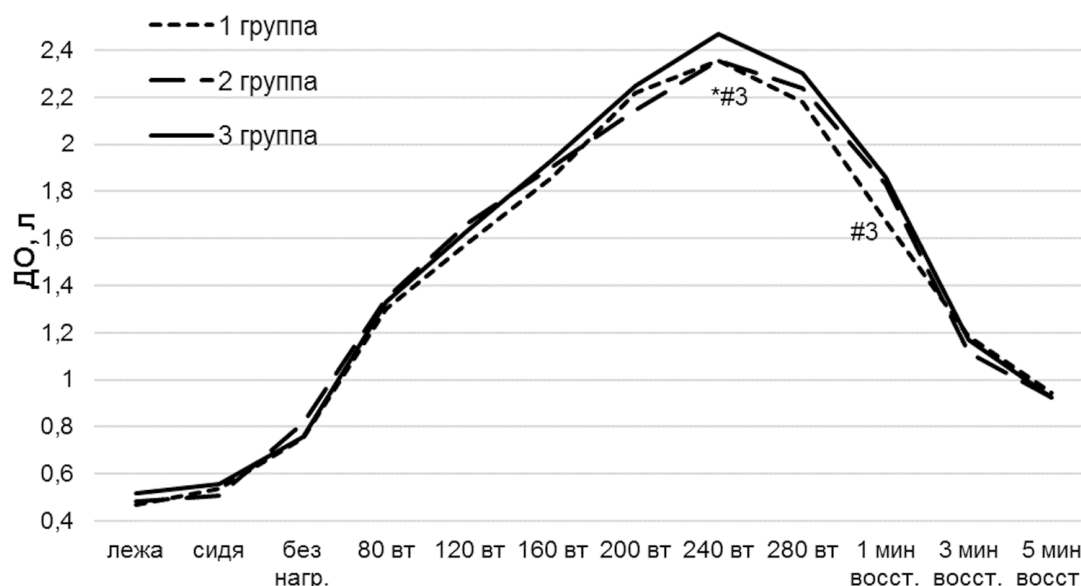


Рис. 2. Динамика ДО у обследованных лыжниц различной спортивной классификации

Fig. 2. Dynamics of respiratory volume in the examined female skiers

может использоваться как прогностический инструмент оценки уровня физической работоспособности и адекватности применяемых нагрузок, а также для построения тренировочных зон у различных спортивных квалификаций в циклических видах спорта [11, 13]. В нашем обследовании при нагрузке и восстановлении

наблюдается четкая зависимость между ЧСС и спортивной квалификацией спортсмена: чем выше квалификация, тем ниже ЧСС (рис. 1). В то же время следует отметить, что максимальные значения ЧСС участников исследования (178–191 уд/мин) ниже ранее приводимых в литературе (193–195 уд/мин) [12].

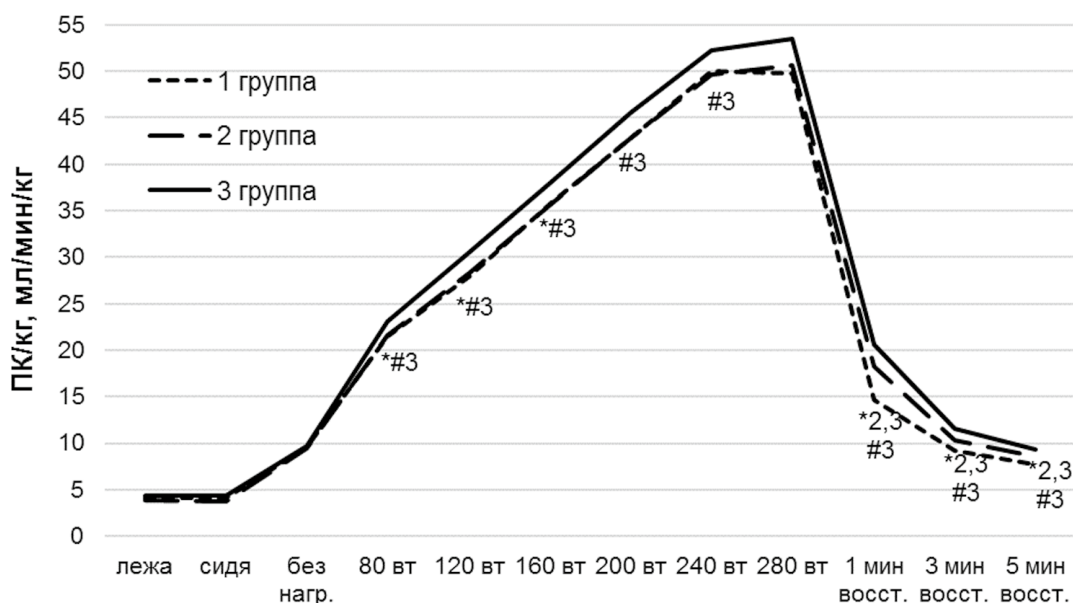


Рис. 3. Динамика относительного потребления кислорода у лыжниц различной спортивной классификации
Fig. 3. Dynamics of oxygen consumption in the examined female skiers

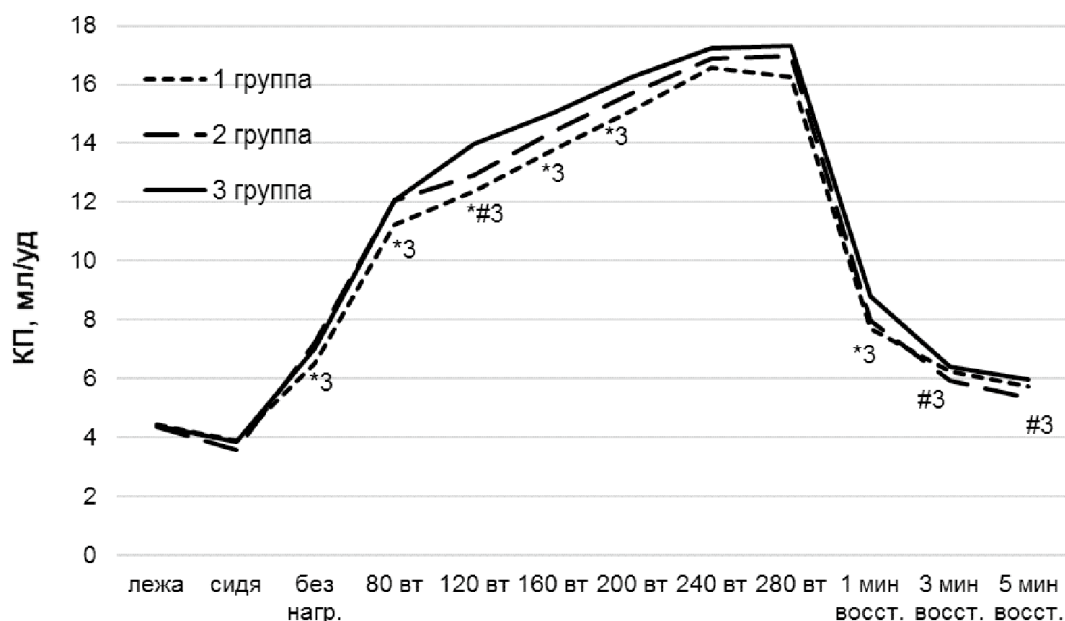


Рис. 4. Динамика КП у обследованных лыжниц различной спортивной классификации
Fig. 4. Dynamics of oxygen pulse in the examined female skiers

Одной из причин этого может быть брадикардическое влияние условий Севера [7].

Способность организма утилизировать кислород при физической нагрузке обусловлена множеством факторов: объемом легких, сердца и циркулирующей крови, бронхиальной проводимостью, количеством и составом вовлеченных в работу мышечных единиц, количеством и размером митохондрий в клетках и т.д. [1]. Учитывая, что среди обследованных групп во время ВЭТ группа наиболее квалифицированных лыжниц характеризовалась статистически значимо минимальными значениями

пульса (рис. 1), а ЧД, ДО и МОД практически не имели различий между группами, важным показателем, отражающим глубинные механизмы функциональных перестроек организма по мере увеличения спортивного мастерства, является ПК/кг (рис. 3). Следует отметить, что если ЧСС на ПАНО обследованных лыжниц не отличалась от показателей, полученных другими авторами [3, 4, 12], то МПК (табл. 2) было ниже показателей, ранее приводимых в литературе (52,8–55,1 мл/мин/кг) [12].

Необходимо отметить, что во время проведения ВЭТ на нагрузке 240–280 Вт при повышающихся МОД

Таблица 2

Показатели на ПАНО и в момент МПК в исследуемых группах лыжниц различной квалификации (Me (25 %; 75 %))

Table 2

Indicators at the anaerobic threshold, at maximal oxygen consumption in the studied groups of female skiers (Me (25 %; 75 %))

Показатель	I группа	II группа	III группа
ПАНО			
ЧСС, уд/мин	171,0 (158,0; 182,0)	169,0 (153,5; 183,0)	167,0 (159,5; 171,5)
ЧД, дых/мин	30,0 (28,0; 35,0)	34,5 (29,5; 38,0)	34,0 (30,0; 39,0)
МОД, л	62,0 (51,0; 76,0)	67,5 (57,0; 75,2)	78,0 (68,2; 82,7)*
ПК, мл/мин/кг	37,8 (33,1; 46,2)	38,7 (35,2; 47,7)	45,5 (43,0; 51,4)*#
МПК			
ЧСС, уд/мин	191,0 (186,0; 194,0)	184,0 (180,0; 186,0)*	176,5 (173,0; 182,0)*#
ЧД, дых/мин	46,0 (42,0; 54,0)	49,0 (46,0; 51,0)	48,0 (43,2; 51,7)
МОД, л	109,0 (98,0; 114,0)	113,0 (103,0; 122,0)	117,5 (110,0; 128,5)*
МПК, мл/мин/кг	52,1 (48,4; 56,9)	54,1 (50,1; 55,4)	55,2 (52,0; 59,0) *

Примечание: данные представлены в виде медианы и 25 % и 75 %.

Note: data are presented as median and 25 % and 75 %.

и ЧД в исследуемых группах происходило снижение ДО на мощности 280 Вт (рис. 2). Наблюдаемые изменения, по-видимому, связаны с изменением структуры дыхания для обеспечения кислородных потребностей организма — происходит увеличение ЧД и снижение ДО [13]. Подобные изменения указывают на увеличение вклада анаэробных гликолитических процессов, использование менее экономного и более кислородозатратного способа обеспечения необходимого уровня легочной вентиляции за счет увеличения ЧД и может служить предиктором завершения физической нагрузки. Уменьшение прироста ПК/кг и КП на нагрузке 280 Вт (рис. 3, 4) также отражает истощение функциональных возможностей системы дыхания.

Одним из широко используемых показателей для характеристики функциональных возможностей спортсменов является МПК, особенно в видах спорта на выносливость [14, 15]. Показатели обследованных спортсменок (табл. 2) значительно отличались от значений элитных зарубежных лыжниц (около 80 мл/кг/мин) [16] и были несколько ниже, чем у российских, — от 58,5 до 62,78 мл/кг/мин [12, 17]. Причинами этого могут быть различные специализации лыжниц (спринтеры, универсалы, стайеры), что, в свою очередь, оказывает влияние на показатели [18], различные методы тестирования — тредбан, велотренажер [18], а также обследование на разных этапах ТП, что также может оказывать влияние на функциональное состояние спортсменов [17, 19].

Показатель, характеризующий экономичность и эффективность системы снабжения организма кислородом — КП [20] у обследованных нами лыжниц по сравнению с данными элитных спортсменок имел более низкие значения: 17,13–17,98 и 18,73–19,43 мл/уд [12] соответственно. Причиной этого, как указано было выше,

могут быть различные способы тестирования [18], разные этапы ТП [17] и влияние повышения спортивной классификации [21].

Важным аспектом в оценке функциональных показателей спортсменов является их изменение относительно значений в состоянии покоя (рис. 5). При анализе ПК/кг в группе спортсменок первой группы на уровне ПАНО наблюдалось статистически значимое увеличение (на 811 %) процента ПК относительно значений покоя, тогда как у лыжниц второй и третьей групп это увеличение составило 998 и 977 % соответственно. При достижении МПК прирост ПК у лыжниц первой, второй и третьей групп составил 1279, 1447 и 1398 % соответственно. Таким образом, можно сказать, что у участниц исследования наблюдается повышение максимальных возможностей обеспечения кислородом по мере повышения спортивного мастерства, что наиболее четко проявляется в переходе от первого взрослого разряда к уровню кандидата в мастера спорта.

Исходя из того, что ДО, ЧД у обследованных лыжниц практически не различалось, ЧСС у спортсменок третьей группы было статистически значимо ниже (рис. 1), а ПК выше практически на всех этапах нагрузки (рис. 3), можно сделать вывод, что у лыжниц первого взрослого разряда выполнение нагрузки в значительной степени обусловлено напряжением КРС, у спортсменок более высокой квалификации за счет совершенствования функции доставки кислорода к тканям. Это может происходить за счет улучшения вентиляции легких, газотранспортной функции крови, а также утилизации кислорода мышцами [22], что, по-видимому, является отражением процессов спортивного [23] и биологического онтогенеза.

Представленные функциональные характеристики КРС на каждой из ступеней ВЭТ позволят более целенаправленно осуществлять мониторинг и сопоставлять

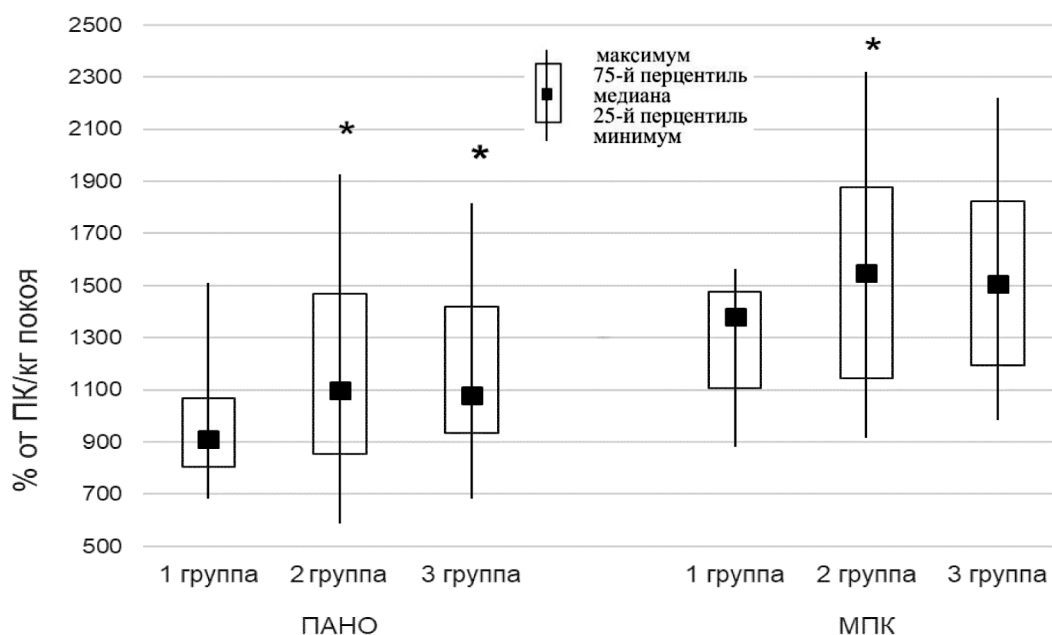


Рис. 5. Процент относительного потребления кислорода от значений покоя на ПАНО и в момент МПК у лыжниц различной квалификации
Fig. 5. The percentage of relative oxygen consumption (from the values of rest) at anaerobic threshold and maximal oxygen consumption in the examined female skiers

функциональный статус лыжниц массовых разрядов и спортивных званий. Также они могут выступать маркерами определения «зрелости» физиологических функций к выполнению квалификаций и уровня физической работоспособности, а также для построения и корректировки ТП и адекватности переносимости нагрузок в циклических видах спорта.

5. Заключение

Среди лыжниц различной квалификации отсутствует положительная зависимость между уровнем

мастерства и антропометрическими характеристиками, что указывает на меньший вклад мышечного компонента в процессе становления спортивного мастерства по сравнению с перестройками КРС.

У спортсменок I разряда выполнение нагрузки происходит в значительной степени за счет напряжения сердечно-сосудистой системы, а у лыжниц-гонщиц МС — за счет улучшения кислородтранспортной функции. По мере увеличения спортивного стажа наблюдаются перестройки систем организма, приводящие к экономизации функций в ответ на предъявляемые нагрузки.

Вклад авторов:

Гарнов Игорь Олегович — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования; написание и редактирование текста;

Логина Татьяна Петровна — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования; написание и редактирование текста;

Бойко Евгений Рафаилович — концепция и дизайн публикации, сбор и анализ данных исследования; написание и редактирование текста.

Author contributions:

Igor O. Garnov — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text;

Tatyana P. Loginova — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text;

Evgeny R. Boyko — concept and publication design, collection and analysis of research data; editing of the text.

Список литературы

1. Hoffman M.D., Clifford P.S. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J. Sports Sci. 1992;10(1):3–27. <https://doi.org/10.1080/02640419208729903>
2. Попов Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне. Москва: Совет. спорт; 2014.
3. Ростовцев В.Л., Кряжев В.Д. Маркеры специальной подготовленности высококвалифицированных спортсменок по

References

1. Hoffman M.D., Clifford P.S. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J. Sports Sci. 1992;10(1):3–27. <https://doi.org/10.1080/02640419208729903>
2. Popov D.V., Grushin A.A., Vinogradova O.L. Physiological basis for assessing aerobic capacity and selecting training loads in skiing and biathlon. Moscow: Sovetskii sport Publ.; 2014. (In Russ.)
3. Rostovtsev V.L., Kryazhev V.D. Markers of special physical fitness of highly qualified athletes in terms of gas analysis. Uchenye

показателям. Ученые записки университета Лесгафта. 2021;(4):396–401. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.4.p396-401>

4. **Rusko H., Rahkila P., Karvinen E.** Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 1980;108(3):263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06532.x>

5. **Smekal G., von Duvillard S.P., Frigo P., Tegelhofer T., Pokan R., Hofmann P., et al.** Menstrual cycle: no effect on exercise cardiorespiratory variables or blood lactate concentration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007;39(7):1098–1106. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31805371e7>

6. **McNulty K. L., Elliott-Sale K.J., Dolan E., Swinton P.A., Ansdell P., Goodall S., Thomas K., Hicks K.M.** The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrheic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2020;50(10):1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>

7. **Бойко Е.Р., Логинова Т.П., Варламова Н.Г., Марков А.Л., Солонин Ю.Г., Дерновоев Б.Ф. и др.** Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта. Сыктывкар: Коми республиканская типография; 2019.

8. **Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И.** Лабильные компоненты массы тела — критерии общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам. Москва: Скайпринт; 2013.

9. **Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Гарнов И.О., Черных А.А., Бойко Е.Р.** Частота сердечных сокращений, потребление кислорода и артериальное давление у лыжников разной квалификации в тесте «до отказа». Человек. Спорт. Медицина. 2021;21(1):53–61.

10. **Rusko H.** Cross country skiing. Handbook of sports medicine and science. UK: Science Ltd., Blackwell; 2003. <https://doi.org/10.1002/9780470693834>

11. **Максимов А.Л., Аверьянова И.В.** Информативные маркеры состояния кардиогемодинамики у юношей с различными типами вегетативной регуляции в процессе велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности. Физиология человека. 2019;45(3):61–68.

12. **Головачев А.И., Колыхматов В.И., Широкова С.В.** Особенности достижения модельных показателей функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонщиц высокой квалификации при подготовке к Олимпийским играм. Человек. Спорт. Медицина. 2021;21(3):38–45.

13. **Губа В.П., Маринич В.В.** Теория и методика современных спортивных исследований: монография. Москва: Спорт; 2016.

14. **Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е.** Мониторинг сердечной деятельности в управлении тренировочным процессом в физической культуре и спорте. Москва: Триада-X; 2011. <https://doi.org/10.53725/9785950018114>

15. **Laursen P.B., Jenkins D.G.** The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports. Med.* 2002;32(1):53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

16. **Haugen T., Paulsen G., Seiler S., Sandbakk Ø.** New records in human power. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):678–686. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0441>

17. **Головачев А.И., Колыхматов В.И., Широкова С.В.** Динамика функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонщиц высокой квалификации, специали-

zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2021;(4):396–401. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2021.4.p396-401>

4. **Rusko H., Rahkila P., Karvinen E.** Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 1980;108(3):263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06532.x>

5. **Smekal G., von Duvillard S.P., Frigo P., Tegelhofer T., Pokan R., Hofmann P., et al.** Menstrual cycle: no effect on exercise cardiorespiratory variables or blood lactate concentration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007;39(7):1098–1106. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31805371e7>

6. **McNulty K. L., Elliott-Sale K.J., Dolan E., Swinton P.A., Ansdell P., Goodall S., Thomas K., Hicks K.M.** The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrheic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2020;50(10):1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>

7. **Boiko E.R., Loginova T.P., Varlamova N.G., Markov A.L., Solonin Yu.G., Dernovoi B.F. et al.** Physiological and biochemical mechanisms to ensure the sports activities of winter cyclic sports. Sy`kty`vkar: Komi Republican Printing House; 2019. (In Russ.).

8. **Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I.** Labile components of body weight — criteria for general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads. Moscow: Skaiprint Publ.; 2013. (In Russ.)

9. **Varlamova N., Loginova T., Garnov I., Chernykh A., Boiko E.** Heart rate, oxygen consumption and arterial pressure in skiers of different skill levels in the test to exhaustion. *Human. Sport. Medicine.* 2021;21(1):53–61. (In Russ.)

10. **Rusko H.** Cross country skiing. Handbook of sports medicine and science. UK: Science Ltd., Blackwell; 2003. <https://doi.org/10.1002/9780470693834>

11. **Maksimov A.L., Averyanova I.V.** Informative markers of cardiogemodynamic state in young men with different types of autonomic regulation during submaximal bicycle exercise test. *Human Physiology.* 2019;45(3):283–290. <https://doi.org/10.1134/S0362119719020051>

12. **Golovachev A., Kolykhmatov V., Shirokova S.** (2021). Achieving the model performance of energy systems in elite cross-country female skiers before the Olympics. *Human. Sport. Medicine.* 2021;21(3):38–45. (In Russ.)

13. **Guba V.P., Marinich V.V.** Theory and methodology of modern sports research: monograph. Moscow: Sport Publ.; 2016. (In Russ.)

14. **Landy`r` A.P., Achkasov E.E.** Monitoring of cardiac activity in the management of the training process in physical culture and sports. Moscow: Triada-X Publ.; 2011. (In Russ.). <https://doi.org/10.53725/9785950018114>

15. **Laursen P.B., Jenkins D.G.** The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports. Med.* 2002;32(1):53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

16. **Haugen T., Paulsen G., Seiler S., Sandbakk Ø.** New records in human power. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):678–686. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0441>

17. **Golovachev A.I., Kolykhmatov V.I., Shirokova S.V.** Dynamics of functional capabilities of the power supply systems of female skiers of high qualification specializing in various types of

зирующихся в различных видах соревновательной деятельности. Вестник спортивной науки. 2019;(3):8–14.

18. Головин М.С., Айзман Р.И. Физиологические и биохимические показатели, характеризующие физическую работоспособность при нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре. Человек. Спорт. Медицина. 2022;22(1):14–21.

19. Гарнов И.О., Чалышева А.А., Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Козловская А.В., Бойко Е.Р. Динамика физической работоспособности и стресс-восстановления у лыжниц-гонщиц в подготовительный и соревновательный периоды. Журн. мед.-биол. исследований. 2018;6(3):214–222. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.214>

20. Горбанёва Е.П. Качественные характеристики функциональной подготовленности спортсменов. Саратов: Научная Книга; 2008.

21. Катунцев В.П., Шамардин А.И., Медведев Д.В. Параметры функциональной экономичности и эффективности у спортсменов футболистов разной степени адаптированности к физическим нагрузкам. Современные проблемы науки и образования. 2014;(5):45–50

22. Филиппов М. М. Условия массопереноса кислорода в организме при максимальной физической нагрузке. Ульяновский медико-биологический журнал. 2012;(4):120–124.

23. Абрамова Т.Ф., Головачев А.И., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И., Гилярова О.А. Динамика особенностей телосложения, показателей работоспособности и энергообеспечения у лыжников на этапах «спортивного» онтогенеза с учетом биологической зрелости. Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. 2012;(3):38–55.

Информация об авторах:

Гарнов Игорь Олегович*, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50 (566552@inbox.ru)

Логинова Татьяна Петровна, к.б.н., научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50 (log73@yandex.ru)

Бойко Евгений Рафаилович, д.м.н., директор, Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50; профессор, заведующий кафедрой биохимии и физиологии ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», Россия, 167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 (boiko60@inbox.ru)

Information about the authors:

Igor O. Garnov*, Scientist of the Department of Ecological and Medical Physiology of the Institute of Physiology of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya, 50 (566552@inbox.ru)

Tatyana P. Loginova, Ph.D. (Biology), Scientist of the Department of Ecological and Medical Physiology of the Institute of Physiology of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya, 50 (log73@yandex.ru)

Evgeny R. Boyko, Dr. Sci. (Medicine), Prof., Director of the Institute of Physiology of the Komi Science Center of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Russia, 167982, Komi Republic, Syktyvkar, GSP-2, str. Pervomayskaya 50; the head of the department of Biochemistry and Physiology, Professor, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Russia, 167001, Komi Republic, Syktyvkar, Oktyabrsky ave., 55 (boiko60@inbox.ru)

competitive activities. Sports Science Bulletin. 2019;(3):8–14. (In Russ.).

18. **Golovin M.S., Aizman R.I.** Physiological and biochemical indicators of physical performance during exercise test (treadmill and bicycle ergometer). Human. Sport. Medicine. 2022;22(1):14–21. (In Russ.)

19. **Garnov I.O., Chalysheva A.A., Varlamova N.G., Loginova T.P., Kozlovskaya A.V., Boyko E.R.** Dynamics of Physical Working Capacity and Recovery-Stress of Female Cross-Country Skiers During the Preparatory and Competitive Phases. Journal of Medical and Biological Research. 2018;6(3):214–222. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.214>

20. **Gorbanyova E.P.** Qualitative characteristics of functional readiness of athletes. Saratov: Nauchnaya Kniga Publ.; 2008. (In Russ.)

21. **Katuntsev V.P., Shamardin A.I., Medvedev D.V.** Functional effectiveness parameters of football players with different degree adaptation to physical activity. Modern Problems of Science and Education. 2014;(5):45–50. (In Russ.)

22. **Filippov M.M.** The conditions for oxygen movement change at maximum exercise. Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2012;(4):120–124. (In Russ.)

23. **Abramova T.F., Golovachev A.I., Nikitina T.M., Kochetkova N.I., Gilyarova O.A.** The dynamics of constitution features, capacity for work indices and energy supply of skiers at the steps of «sport» ontogenesis with considering biologic maturity. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia = Moscow University Anthropology Bulletin. 2012;(3):38–55. (In Russ.)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author