

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109505>

# Вариабельность сердечного ритма у лыжников-гонщиков с разным уровнем максимального потребления кислорода

А.Л. Марков

Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Цель.** Изучение особенностей variability сердечного ритма (BCP) у лыжников-гонщиков с разным уровнем максимального потребления кислорода (МПК).

**Материалы и методы.** Анализ BCP проведён с помощью аппаратно-программного комплекса «Экосан-2007» («Медицинские Компьютерные Системы», Россия) у 52 лыжников-гонщиков сборной команды Республики Коми (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта России). МПК измеряли с помощью эргоспирометрической системы Oхуcon Pro (Erich Jaeger, Германия). Для выявления особенностей BCP у лиц с разным уровнем МПК добровольцы были разделены на две группы: с МПК до 4400 мл/мин ( $n=27$ ) и свыше 4400 мл/мин ( $n=25$ ). Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна-Уитни. Для выявления взаимосвязей между изучаемыми показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

**Результаты.** У спортсменов с разным уровнем МПК выявлены значимые различия по ряду показателей BCP: значениям абсолютной мощности LF- и VLF-волн, относительному значению мощности HF-волн, индексам LF/HF и IC. Корреляционный анализ показал существенную отрицательную связь абсолютных значений МПК с MxDMn, MxRMn, LF/HF, IC, мощностью LF и LF%, VLF-волн, при этом отмечена положительная связь с HF%. Относительная величина МПК на килограмм массы тела имеет значимые отрицательные связи с MxRMn, TP, LF, VLF, LF/HF, IC и положительную — с HF%.

**Заключение.** У лыжников-гонщиков показана существенная связь МПК с BCP. У спортсменов с высоким МПК выявлен более экономный режим регуляции ритма сердца, чем у лиц с низким МПК.

**Ключевые слова:** максимальное потребление кислорода; МПК; лыжники; variability сердечного ритма; сердечно-сосудистая система.

## Как цитировать:

Марков А.Л. Variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков с разным уровнем максимального потребления кислорода // Экология человека. 2022. Т. 29, № 10. С. 741–748. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109505>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109505>

# Heart rate variability in cross-country skiers with different level of maximum oxygen consumption

Alexander L. Markov

Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

## ABSTRACT

**AIM:** This research aimed to study heart rate variability (HRV) in cross-country skiers with different levels of maximal oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ).

**MATERIALS AND METHODS:** HRV analysis was carried out using the “Ecosan-2007” (“Medical Computer Systems,” Russia) complex in 52 cross-country skiers from the Komi Republic team (candidates for master of sports and master of sports of Russia). The “Oxycon Pro” ergospirometric system (“Erich Jaeger,” Germany) was used to calculate  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . To identify the HRV patterns in individuals with different levels of  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , volunteers were divided into two groups: with  $\text{VO}_{2\text{max}}$  up to 4400 ml/min ( $n=27$ ) and over 4400 ml/min ( $n=25$ ). The Mann–Whitney U-test was used to ascertain whether the differences between groups were statistically significant. A Spearman correlation test was used to analyze the relationship between the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and HRV.

**RESULTS:** Athletes with different levels of  $\text{VO}_{2\text{max}}$  showed significant differences in several HRV indicators as follows: absolute values of LF and VLF waves, the relative value of HF waves, LF/HF, and IC indices. Correlation analysis indicated the presence of a significant negative correlation between the absolute values of  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and  $\text{MxDMn}$ ,  $\text{MxRMn}$ , LF/HF, IC, power of LF, and LF%. VLF waves. Furthermore, a positive correlation was observed between  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and HF%. The relative values of the  $\text{VO}_{2\text{max}}/\text{kg}$  showed a significant negative correlation with  $\text{MxRMn}$ , TP, LF, VLF, LF/HF, and IC; and positive with HF%.

**CONCLUSION:** In cross-country skiers, a significant correlation was identified between  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and HRV parameters. Compared to Athletes with lower  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , those with higher  $\text{VO}_{2\text{max}}$  had a more efficient mode of heart rate regulation.

**Keywords:** maximum oxygen consumption;  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ; cross-country skiers; heart rate variability; cardiovascular system.

## To cite this article:

Markov AL. Heart rate variability in cross-country skiers with different level of maximum oxygen consumption. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(10):741–748. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109505>

Received: 27.07.2022

Accepted: 17.10.2022

Published online: 15.11.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Лыжные гонки — один из самых популярных и медалеёмких зимних олимпийских видов спорта. Изучению физиологии лыжников-гонщиков посвящено большое количество работ [1]. Кардиореспираторное нагрузочное тестирование является универсальным методом оценки функциональных возможностей спортсменов. Максимальное потребление кислорода (МПК) характеризует предельно достижимую мощность аэробного источника энергопродукции и хорошо коррелирует со спортивными результатами, особенно в циклических видах спорта [2, 3]. Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) — также широко используемый метод в спортивной физиологии для оценки функционального состояния спортсменов и полезный инструмент для определения оптимальных тренировочных нагрузок, ведущих к улучшению спортивных результатов [4]. ВСР и МПК зависят от многих факторов [5–7], однако практически отсутствуют сведения о связи их между собой. Нет данных об особенностях ВСР у высококвалифицированных спортсменов, имеющих разный уровень МПК.

**Целью данного исследования** стало изучение вариабельности сердечного ритма у лыжников-гонщиков с разным уровнем максимального потребления кислорода.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное продольное неконтролируемое исследование. В общеподготовительный тренировочный период (с июня 2016 по июнь 2019 года) обследовано 70 мужчин из сборной Республики Коми по лыжным гонкам (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта России). Возраст добровольцев составлял от 18 до 30 лет.

У обследованных лиц выявлены два исходных типа вегетативной регуляции: ваготонический (стресс-индекс (SI) <50 усл. ед.) и нормотонический (SI=50–150 усл. ед.). С целью исключения фактора «тип вегетативной регуляции» в конечную выборку были взяты только лыжники-гонщики с ваготоническим типом ( $n=52$ ).

Для выявления особенностей ВСР у лиц с разным уровнем МПК добровольцев разделили на две группы: с МПК до 4400 мл/мин ( $n=27$ ) и свыше 4400 мл/мин ( $n=25$ ). Общепризнанной классификации МПК не найдено, поэтому граница абсолютной величины МПК (4400 мл/мин), делящая обследованных лиц на две группы, взята в качестве медианы общей выборки по данному параметру.

Кроме вышеперечисленных критерием включения было отсутствие острых и хронических заболеваний на момент и за две недели до обследования.

Максимальное потребление кислорода измеряли с помощью эргоспирометрической системы Oxycon Pro (Erich Jaeger, Германия). В тесте «до отказа» спортсмены выполняли работу на велоэргометре начиная с 120 Вт, со ступенчатым приростом нагрузки на 40 Вт каждые две

минуты с каденсом 60 оборотов в минуту [2]. Результаты представляли либо в абсолютной величине (мл/мин), либо рассчитывали МПК на килограмм массы тела (мл/кг/мин) для исключения влияния на эту величину массы тела. Нагрузочное тестирование лыжников проводили через 5–10 мин после окончания измерения ВСР.

Регистрация электрокардиограммы и анализ ВСР выполнены с помощью аппаратно-программного комплекса «Экосан-2007» («Медицинские Компьютерные Системы», Россия). Перед началом обследования спортсмены проходили период адаптации к условиям помещения в течение 5–10 мин. Электрокардиограмму регистрировали в одном из стандартных отведений, в течение 5 мин в положении лёжа.

Вариабельность сердечного ритма анализировали в соответствии с рекомендациями группы российских экспертов [8]. Определяли следующие временные и геометрические показатели ВСР: среднее значение длительности интервалов, максимальное (Max) и минимальное (Min) значения кардиоинтервалов, разность Max–Min ( $MxDMn$ ), отношение Max/Min ( $MxRMn$ ), мода (Mo), амплитуда моды при ширине класса 50 мс ( $AMo50$ ), стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов (SDNN), квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов в массиве ( $pNN50$ ), SI. По результатам спектрального анализа ВСР рассчитывали суммарную мощность спектра (TP), абсолютную ( $mc^2$ ) и относительную (%) мощность спектра высокочастотного (HF), низкочастотного (LF), очень низкочастотного (VLF) компонентов ВСР, симпато-вагальный индекс (LF/HF) и индекс централизации (IC).

Кроме того, у спортсменов измеряли массу тела без обуви и верхней одежды на медицинских весах с точностью до 100 г.

Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике при ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО. Все спортсмены подписали добровольное согласие на участие в исследовании.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Statistica 6.0. Вследствие асимметричного распределения ряда параметров ВСР результаты её анализа представлены в виде медианы (Me) и 25-го и 75-го процентилей. Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна–Уитни. Для выявления взаимосвязей между изучаемыми показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Различия считали значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены данные антропометрических параметров и параметров ВСР. Показаны существенные различия между группами по массе тела, абсолютным МПК и МПК на килограмм массы тела. У спортсменов

**Таблица 1.** Антропoфизиoметрические показатели и параметры вариaбельности сердечного ритма у лыжников с разным уровнем максимального потребления кислорода, Me [25%; 75%]**Table 1.** Anthropophysiometric indicators and heart rate variability parameters in skiers with different levels of maximum oxygen consumption, Me [25%; 75%]

Параметры   Parameters	МПК, мл/мин   VO <sub>2</sub> max, ml/min		Z	p
	<4400	>4400		
МПК, мл/мин   VO <sub>2</sub> max, ml/min	4113,0 [3935,50; 4236,0]	4567,0 [4492,0; 4781,0]	−6,181	0,001
МПК/кг, мл/кг/мин   VO <sub>2</sub> max/kg, ml/kg/min	58,69 [56,37; 60,59]	63,13 [61,54; 65,87]	−4,075	0,001
Возраст, лет   Age, years	20,0 [19,0; 26,5]	21,0 [19,0; 24,0]	−0,513	0,608
Масса тела, кг   Body weight, kg	69,50 [66,85; 72,0]	72,50 [70,80; 76,0]	−2,820	0,005
ЧСС, в минуту   Heart rate, per minute	51,0 [48,0; 56,0]	55,0 [48,0; 57,0]	−0,128	0,898
Среднее значение длительности интервалов, мс Average interval duration, ms	1171,0 [1068,0; 1253,50]	1100,0 [1059,0; 1258,0]	0,082	0,934
Максимальное значение (Max), мс Maximum value (Max), ms	1372,0 [1331,0; 1437,0]	1354,0 [1296,0; 1452,0]	0,614	0,539
Минимальное значение (Min), мс Minimum value (Min), ms	933,0 [825,50; 982,50]	906,0 [851,0; 999,0]	−0,604	0,546
Разность Max–Min (MxDMn), мс Max–Min difference (MxDMn), ms	465,0 [411,50; 530,0]	421,0 [391,0; 463,0]	1,813	0,070
Отношение Max/Min (MxRMn) Max/Min ratio (MxRMn)	1,52 [1,45; 1,58]	1,47 [1,39; 1,51]	1,485	0,138
RMSSD, мс   RMSSD, ms	81,0 [72,0; 96,0]	79,0 [64,0; 96,0]	0,834	0,404
pNN50, %   pNN50, %	56,40 [44,60; 64,75]	56,20 [45,60; 64,30]	−0,385	0,701
SDNN, мс   SDNN, ms	82,79 [69,11; 93,68]	67,52 [63,50; 89,21]	1,493	0,136
Мода (Mo), мс   Mode (Mo), ms	1178,0 [1075,50; 1250,50]	1127,0 [1026,0; 1321,0]	−0,412	0,680
Амплитуда моды (AMo50), % Mode amplitude (AMo50), %	26,0 [22,95; 29,70]	27,00 [23,90; 29,10]	0,266	0,791
SI, усл. ед.   SI, arb. units	25,0 [19,50; 31,0]	27,0 [22,0; 34,00]	−0,843	0,399
TP, мс <sup>2</sup>   TP, ms <sup>2</sup>	4814,66 [4129,16; 7573,33]	3890,75 [3390,56; 6040,12]	1,621	0,105
HF, мс <sup>2</sup>   HF, ms <sup>2</sup>	2157,62 [1387,67; 2637,64]	1915,22 [1217,10; 2871,86]	0,211	0,833
LF, мс <sup>2</sup>   LF, ms <sup>2</sup>	1392,67 [1062,60; 2359,44]	975,73 [573,31; 1747,85]	1,987	0,047
VLF, мс <sup>2</sup>   VLF, ms <sup>2</sup>	601,52 [411,96; 978,68]	379,98 [231,82; 657,93]	2,115	0,034
HF, %   HF, %	46,10 [34,45; 55,25]	56,80 [44,50; 65,30]	−2,271	0,023
LF, %   LF, %	33,60 [27,15; 49,05]	26,80 [23,30; 38,0]	1,777	0,076
VLF, %   VLF, %	15,30 [11,50; 18,75]	12,10 [6,50; 19,20]	1,007	0,314
LF/HF, усл. ед.   LF/HF, arb. units	0,74 [0,49; 1,39]	0,43 [0,37; 0,89]	2,125	0,034
IC, усл. ед.   IC, arb. units	1,17 [0,81; 1,91]	0,76 [0,53; 1,25]	2,262	0,024

Примечание: расшифровки см. в тексте в разделе «Материалы и методы».

Note: VO<sub>2</sub>max — maximum oxygen consumption.

с разным уровнем МПК также выявлены значимые различия по ряду показателей ВСП (см. табл. 1). У лиц из группы с высоким уровнем МПК статистически значимо ниже были абсолютные значения LF- и VLF-волн, индексы LF/HF и IC и выше — относительное значение HF-волн.

Корреляционный анализ у спортсменов показал существенную связь между МПК и рядом параметров ВСП

(табл. 2). Выявлена отрицательная связь абсолютных значений МПК с MxDMn, MxRMn, LF/HF, IC, мощностью LF и LF%, VLF-волн, при этом отмечена положительная связь с HF%. Относительное значение МПК на килограмм массы тела имеет значимые отрицательные связи с MxRMn, TP, LF, VLF, LF/HF, IC и положительную — с HF%.

**Таблица 2.** Корреляционная связь максимального потребления кислорода и параметров variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков**Table 2.** Correlation between maximum oxygen consumption and heart rate variability parameters in cross-country skiers

Параметры Parameters	МПК, мл/мин VO <sub>2</sub> max, ml/min		МПК/кг, мл/кг/мин VO <sub>2</sub> max/kg, ml/kg/min	
	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>
ЧСС, в минуту   Heart rate, per minute	-0,119	0,401	-0,123	0,386
Среднее значение длительности интервалов, мс Average interval duration, ms	0,120	0,398	0,123	0,385
Максимальное значение (Max), мс   Maximum value (Max), ms	0,075	0,599	0,031	0,825
Минимальное значение (Min), мс   Minimum value (Min), ms	0,264	0,058	0,213	0,129
Разность Max–Min (MxDMn), мс   Max–Min difference (MxDMn), ms	-0,316	0,022	-0,265	0,057
Отношение Max/Min (MxRMn)   Max/Min ratio (MxRMn)	-0,351	0,011	-0,318	0,022
RMSSD, мс   RMSSD, ms	-0,090	0,527	-0,072	0,614
pNN50, %   pNN50, %	0,096	0,496	0,097	0,495
SDNN, мс   SDNN, ms	-0,245	0,080	-0,254	0,070
Мода (Mo), мс   Mode (Mo), ms	0,183	0,194	0,161	0,254
Амплитуда моды (AMo50), %   Mode amplitude (AMo50), %	-0,088	0,537	0,051	0,722
SI, усл. ед.   SI, arb. units	0,069	0,625	0,109	0,443
TP, мс <sup>2</sup>   TP, ms <sup>2</sup>	-0,240	0,086	-0,279	0,045
HF, мс <sup>2</sup>   HF, ms <sup>2</sup>	0,007	0,958	-0,020	0,886
LF, мс <sup>2</sup>   LF, ms <sup>2</sup>	-0,313	0,024	-0,335	0,015
VLF, мс <sup>2</sup>   VLF, ms <sup>2</sup>	-0,382	0,005	-0,315	0,023
HF, %   HF, %	0,400	0,003	0,317	0,022
LF, %   LF, %	-0,311	0,025	-0,263	0,059
VLF, %   VLF, %	-0,231	0,100	-0,143	0,312
LF/HF, усл. ед.   LF/HF, arb. units	-0,355	0,010	-0,309	0,026
IC, усл. ед.   IC, arb. units	-0,398	0,003	-0,320	0,021

Примечание: расшифровки см. в тексте в разделе «Материалы и методы».

Note: VO<sub>2</sub>max — maximum oxygen consumption

## ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальное потребление кислорода — важнейший интегральный показатель, по которому оценивают физическую работоспособность и эффективность работы сердечно-сосудистой системы. МПК зависит от многих факторов: вида спорта, квалификации спортсмена, пола, возраста, массы тела, генетических факторов и т.д. [5, 9–12].

Лыжники-гонщики имеют исключительно высокий уровень МПК [13]. У элитных спортсменов МПК на килограмм массы тела может превышать 80 мл/кг/мин [14, 15]. У обследованных нами спортсменов абсолютные и относительные значения МПК ниже, чем у элитных лыжников из сборных других стран. Так, например, у спортсменов из сборной Франции по лыжным гонкам относительные значения МПК составляли 79,8±3,2 мл/кг/мин [16]. У призёров чемпионатов мира

и Олимпийских игр 1990–2013 гг. на дистанционных гонках из сборной Норвегии МПК составляло 6420±640 мл/мин, МПК на килограмм массы тела — 84,3±5,2 мл/кг/мин. У лыжников без медалей данные показатели были несколько ниже (6310±310 мл/мин и 82,0±2,2 мл/кг/мин соответственно) [14]. У элитных лыжников из Швеции МПК находилось на уровне 5100±100 мл/мин [17], 5340±340 мл/мин и 70,3±4,2 мл/кг/мин [18].

Полученная разница может быть связана не только с разным классом спортсменов и уровнем их спортивных достижений, но и с отличием в приборно-методическом аспекте, структуре тренировочного процесса и периоде обследования, а также с разными климатогеографическими условиями проживания спортсменов. Показано, что у элитных норвежских лыжников МПК в зимний период существенно выше, чем в летний [19]. Ю.Г. Солоныным

с соавт. [20] установлено влияние широтного фактора на организм высококвалифицированных лыжников-гонщиков. У спортсменов сборной команды Республики Коми, проживающих в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, МПК существенно выше, чем у лиц из районов Крайнего Севера ( $4772 \pm 291$  мл/мин и  $3985 \pm 392$  мл/мин соответственно). Хорошо известно, что холодный климат способствует формированию ряда адаптивных признаков, затрагивающих кардиореспираторную систему, и может негативно сказываться на физической работоспособности [21]. Между тем, по сравнению с обследованными спортсменами, у лыжников-любителей в подготовительный тренировочный период выявлены более низкие значения МПК и МПК на килограмм массы тела ( $4000 \pm 500$  мл/мин и  $51,1 \pm 4,6$  мл/кг/мин) [22].

Анализ ВСП показал, что у обследованных лыжников-гонщиков наблюдалось смещение вегетативного баланса в сторону преобладания активности парасимпатической нервной системы. Схожие данные получены и другими авторами [23]. Хорошо известно, что у элитных спортсменов циклических видов спорта парасимпатический тонус повышен в сравнении со спортсменами-любителями или неспортсменами [4].

При сравнении спортсменов с разным уровнем МПК отмечена более экономная регуляция ритма сердца за счёт меньшего влияния высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр и более низкой активности симпатической нервной системы у лыжников с высоким уровнем МПК. Как результат, обследованные спортсмены с высоким уровнем МПК имеют больше функциональных резервов организма и более высокий шанс на победу на соревнованиях.

Состав и масса тела являются важными факторами, влияющими на физическую работоспособность лыжников-гонщиков [18, 24–26]. Поэтому при оценке связи МПК и ВСП необходимо рассматривать не только абсолютные значения МПК, но и относительные — МПК на килограмм массы тела. С помощью корреляционного анализа по Спирмену нами выявлены однонаправленные связи ВСП с данными параметрами. При росте МПК и МПК на килограмм массы тела возрастает активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Снижение суммарной мощности спектра ВСП связано с уменьшением мощности низкочастотных и очень низкочастотных волн, при этом мощность высокочастотных волн остаётся на том же уровне.

Таким образом, в работе выявлена связь ВСП и МПК у высококвалифицированных лыжников-гонщиков. Для повышения внутренней валидности в исследование включены лыжники одного пола, с одинаковым типом вегетативной регуляции (ваготоническим) и спортивной квалификацией. Для снижения возможного влияния тренировочного

периода и сезона года исследование было проведено в июне, в общеподготовительный тренировочный период.

**Ограничения исследования.** Потенциальными недостатками исследования можно считать небольшую выборку обследованных лиц. Кроме того, не изучалась связь ВСП и МПК у лыжников с другой спортивной квалификацией (элита и спортсмены-любители), у женщин и в другие тренировочные периоды. Данные имели бы большую внешнюю валидность, если бы в исследование были включены спортсмены не только Европейского Севера России, но и других регионов нашей страны и мира.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У высококвалифицированных лыжников-гонщиков, имеющих разный уровень максимального потребления кислорода, выявлен ряд особенностей вариабельности сердечного ритма. У лыжников с высоким уровнем максимального потребления кислорода за счёт низкой активности симпатической нервной системы и меньшего влияния высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр отмечен более экономный режим регуляции ритма сердца, чем у лиц с низким уровнем. Выявлены отрицательная связь абсолютных значений максимального потребления кислорода с  $MxDMn$ ,  $MxRMn$ ,  $LF/HF$ ,  $IC$ , мощностью  $LF$  и  $LF\%$ ,  $VLF$ -волн и положительная — с  $HF\%$ . Максимальное потребление кислорода на килограмм массы тела имеет существенную отрицательную связь с  $MxRMn$ ,  $TP$ ,  $LF$ ,  $VLF$ ,  $LF/HF$ ,  $IC$  и положительную — с  $HF\%$ . При росте абсолютных и относительных значений максимального потребления кислорода возрастает активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Благодарности.** Автор выражает благодарность к.б.н. Т.П. Логиновой и к.б.н. И.О. Гарнову за измерение максимального потребления кислорода.

**Acknowledgments.** The author is grateful to Cand. Sci. (Biol.) T.P. Loginova and Cand. Sci. (Biol.) I.O. Garnov for measuring the maximum oxygen consumption.

**Финансирование.** Исследование проведено в рамках темы НИР ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН FUUU-2022-0063 (регистрационный номер 1021051201877-3).

**Funding sources.** The study was supported by the Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences FUUU-2022-0063 (registration number 1021051201877-3).

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The author declare no conflict of interest.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sandbakk Ø., Holmberg H.C. Physiological capacity and training routines of elite cross-country skiers: approaching the upper limits of human endurance // *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Vol. 12, N 8. P. 1003–1011. doi: 10.1123/ijspp.2016-0749
2. Бойко Е.Р., Логинова Т.П., Варламова Н.Г., и др. Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта / под ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар : Коми республиканская типография, 2019. 256 с.
3. Sandbakk Ø., Holmberg H.C., Leirdal S., Ettema G. The physiology of world-class sprint skiers // *Scand J Med Sci Sports.* 2011. Vol. 21, N 6. P. e9–e16. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x
4. Dong J.G. The role of heart rate variability in sports physiology // *Exp Ther Med.* 2016. Vol. 11, N 5. P. 1531–1536. doi: 10.3892/etm.2016.3104
5. Рылова Н.В., Биктимирова А.А., Назаренко А.С. Уровень максимального потребления кислорода как показатель работоспособности спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта // *Практическая медицина.* 2014. № 9. С. 147–150.
6. Johansen J.M., Goleva-Fjellet S., Sunde A., et al. No change — no gain; the effect of age, sex, selected genes and training on physiological and performance adaptations in cross-country skiing // *Front Physiol.* 2020. Vol. 11. P. 581339. doi: 10.3389/fphys.2020.581339
7. Tiwari R., Kumar R., Malik S., et al. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability // *Curr Cardiol Rev.* 2021. Vol. 17, N 5. P. e160721189770. doi: 10.2174/1573403X16999201231203854
8. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // *Вестник аритмологии.* 2001. № 24. С. 65–87.
9. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. Москва : Физкультура и спорт, 1988. 207 с.
10. Рутковский А.В., Койносов А.П., Дурыгина Г.Г. Динамика показателей спирографии и максимального потребления кислорода у спортсменов, специализирующихся в циклических зимних видах спорта, в природно-климатических условиях Среднего Приобья // *Научный медицинский вестник Югры.* 2019. № 3. С. 66–71. doi: 10.25017/2306-1367-21-3-66-71
11. Sandbakk Ø., Ettema G., Holmberg H.C. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling // *Scand J Med Sci Sports.* 2014. Vol. 24, N 1. P. 28–33. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x
12. Peterman J.E., Arena R., Myers J., et al. Development of global reference standards for directly measured cardiorespiratory fitness: a report from the fitness registry and importance of exercise national database (FRIEND) // *Mayo Clin Proc.* 2020. Vol. 95, N 2. P. 255–264. doi: 10.1016/j.mayocp.2019.06.013
13. Sagelv E.H., Engseth T.P., Pedersen S., et al. Physiological comparisons of elite male visma ski classics and national level cross-country skiers during uphill treadmill roller skiing // *Front Physiol.* 2018. Vol. 9. P. 1523. doi: 10.3389/fphys.2018.01523
14. Tønnessen E., Haugen T.A., Hem E., et al. Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990–2013 // *Int J Sports Physiol Perform.* 2015. Vol. 10, N 7. P. 835–839. doi: 10.1123/ijspp.2014-0431
15. Skattebo Ø., Losnegard T., Stadheim H.K. Double-poling physiology and kinematics of elite cross-country skiers: specialized long-distance versus all-round skiers // *Int J Sports Physiol Perform.* 2019. Vol. 14, N 9. P. 1190–1199. doi: 10.1123/ijspp.2018-0471
16. Schmitt L., Regnard J., Coulmy N., Millet G.P. Influence of training load and altitude on heart rate variability fatigue patterns in elite nordic skiers // *Int J Sports Med.* 2018. Vol. 39, N 10. P. 773–781. doi: 10.1055/a-0577-4429
17. Calbet J.A., Jensen-Urstad M., van Hall G., et al. Maximal muscular vascular conductances during whole body upright exercise in humans // *J Physiol.* 2004. Vol. 558, Pt 1. P. 319–331. doi: 10.1113/jphysiol.2003.059287
18. Carlsson T., Carlsson M., Felleki M., et al. Scaling maximal oxygen uptake to predict performance in elite-standard men cross-country skiers // *J Sports Sci.* 2013. Vol. 31, N 16. P. 1753–1760. doi: 10.1080/02640414.2013.803586
19. Ingjer F. Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 1991. Vol. 1, N 1. P. 25–30. doi: 10.1111/j.1600-0838.1991.tb00267.x
20. Солонин Ю.Г., Логинова Т.П., Марков А.Л., и др. Влияние широтного фактора на физическую работоспособность лыжников-гонщиков Республики Коми // *Журнал медико-биологических исследований.* 2018. Т. 6, № 4. С. 425–434. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.4.425
21. Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 257 с.
22. Grzebisz N. Cardiovascular adaptations to four months training in middle-aged amateur long-distance skiers // *Diagnostics (Basel).* 2020. Vol. 10, N 7. P. 442. doi: 10.3390/diagnostics10070442
23. Викулов А.Д., Бочаров М.В., Каунина Д.В., Бойков В.Л. Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации // *Вестник спортивной науки.* 2017. № 2. С. 31–36.
24. Биктимирова А.А., Рылова Н.В., Самойлов А.С. Применение кардиореспираторного нагрузочного тестирования в спортивной медицине // *Практическая медицина.* 2014. № 3. С. 50–53.
25. Larsson P., Henriksson-Larsén K. Body composition and performance in cross-country skiing // *Int J Sports Med.* 2008. Vol. 29, N 12. P. 971–975. doi: 10.1055/s-2008-1038735
26. Polat M., Korkmaz Eryilmaz S., Aydoğan S. Seasonal variations in body composition, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in cross-country skiers // *Open Access J Sports Med.* 2018. Vol. 9. P. 91–97. doi: 10.2147/OAJSM.S154630

## REFERENCES

1. Sandbakk Ø., Holmberg H.C. Physiological capacity and training routines of elite cross-country skiers: approaching the upper limits of human endurance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(8):1003–1011. doi: 10.1123/ijspp.2016-0749

2. Boiko ER, Loginova TP, Varlamova NG. *Physiological and biochemical mechanisms to ensure the sports activities of winter cyclic sports*. Boiko ER, editor. Syktyvkar: Komi respublikanskaja tipografija; 2019. 256 p. (In Russ).
3. Sandbakk Ø, Holmberg HC, Leirdal S, Ettema G. The physiology of world-class sprint skiers. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21(6):e9–e16. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x
4. Dong JG. The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med*. 2016;11(5):1531–1536. doi: 10.3892/etm.2016.3104
5. Rylova NV, Biktimirova AA, Nazarenko AC. Level of maximal oxygen consumption as an indicator of performance of athletes specializing in different sports. *Practical medicine*. 2014;9:147–150. (In Russ).
6. Johansen JM, Goleva-Fjellet S, Sunde A, et al. No change — no gain; the effect of age, sex, selected genes and training on physiological and performance adaptations in cross-country skiing. *Front Physiol*. 2020;11:581339. doi: 10.3389/fphys.2020.581339
7. Tiwari R, Kumar R, Malik S, et al. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Curr Cardiol Rev*. 2021;17(5):e160721189770. doi: 10.2174/1573403X16999201231203854
8. Baevskii RM, Ivanov GG, Chireikin LV, et al. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem. *Vestnik aritmologii*. 2001;24:65–87. (In Russ).
9. Karpman VL, Belocerkovskij ZB, Gudkov IA. *Testirovanie v sportivnoj medicine*. Moscow: Fizkul'tura i sport; 1988. 207 p. (In Russ).
10. Rutkovskiy AV, Koinosov AP, Durygina GG. Dynamics of spirometry indicators and maximum oxygen consumption in athletes of cyclical winter sports in the natural climatic conditions of the middle Ob Region. *The Scientific and Practical Journal of Medicine*. 2019;3:66–71. (In Russ). doi: 10.25017/2306-1367-21-3-66-71
11. Sandbakk Ø, Ettema G, Holmberg HC. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(1):28–33. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x
12. Peterman JE, Arena R, Myers J, et al. Development of global reference standards for directly measured cardiorespiratory fitness: a report from the fitness registry and importance of exercise national database (FRIEND). *Mayo Clin Proc*. 2020;95(2):255–264. doi: 10.1016/j.mayocp.2019.06.013
13. Sagelv EH, Engseth TP, Pedersen S, et al. Physiological comparisons of elite male visma ski classics and national level cross-country skiers during uphill treadmill roller skiing. *Front Physiol*. 2018;9:1523. doi: 10.3389/fphys.2018.01523
14. Tønnessen E, Haugen TA, Hem E, et al. Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990–2013. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10(7):835–839. doi: 10.1123/ijspp.2014-0431
15. Skattebo Ø, Losnegard T, Stadheim HK. Double-Poling physiology and kinematics of elite cross-country skiers: specialized long-distance versus all-round skiers. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(9):1190–1199. doi: 10.1123/ijspp.2018-0471
16. Schmitt L, Regnard J, Coulmy N, Millet GP. Influence of training load and altitude on heart rate variability fatigue patterns in elite Nordic skiers. *Int J Sports Med*. 2018;39(10):773–781. doi: 10.1055/a-0577-4429
17. Calbet JA, Jensen-Urstad M, van Hall G, et al. Maximal muscular vascular conductances during whole body upright exercise in humans. *J Physiol*. 2004;558(Pt 1):319–331. doi: 10.1113/jphysiol.2003.059287
18. Carlsson T, Carlsson M, Felleki M, et al. Scaling maximal oxygen uptake to predict performance in elite-standard men cross-country skiers. *J Sports Sci*. 2013;31(16):1753–1760. doi: 10.1080/02640414.2013.803586
19. Ingjer F. Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 1991;1(1):25–30. doi: 10.1111/j.1600-0838.1991.tb00267.x
20. Solonin YuG, Loginova TP, Markov AL, et al. Effect of the latitudinal factor on the physical performance in cross-country skiers of the Komi Republic. *Journal of Medical and Biological Research*. 2018;6(4):425–434. (In Russ). doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.4.425
21. Evdokimov VG, Rogachevskaja OV, Varlamova NG. *Modulirovushchee vliyanie faktorov Severa na kardiorespiratornuju sistemu cheloveka v ontogeneze*. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. 257 p. (In Russ).
22. Grzebisz N. Cardiovascular adaptations to four months training in middle-aged amateur long-distance skiers. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(7):442. doi: 10.3390/diagnostics10070442
23. Vikulov AD, Bocharov MV, Kaunina DV, Bojkov VL. Reguljacija serdechnoj dejatel'nosti u sportsmenov vysokoj kvalifikacii. *Vestnik sportivnoj nauki*. 2017;(2):31–36. (In Russ).
24. Biktimirova AA, Rylova NV, Samoylov AS. Application of cardiorespiratory exercise testing in sports medicine. *Practical medicine*. 2014;3:50–53. (In Russ).
25. Larsson P, Henriksson-Larsén K. Body composition and performance in cross-country skiing. *Int J Sports Med*. 2008;29(12):971–975. doi: 10.1055/s-2008-1038735
26. Polat M, Korkmaz Eryilmaz S, Aydoğan S. Seasonal variations in body composition, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in cross-country skiers. *Open Access J Sports Med*. 2018;9:91–97. doi: 10.2147/OAJSM.S154630

## ОБ АВТОРЕ

**\*Марков Александр Леонидович**, к.б.н.;

адрес: Россия, 167982, Республика Коми, Сыктывкар, ул.

Первомайская, 50;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3987-5686>;

eLibrary SPIN: 3705-2140; e-mail: volkarb@mail.ru

## AUTHOR INFO

**\*Alexander L. Markov**, Cand. Sci. (Biol.);

address: 50 Pervomajskaja street, 167982, Syktyvkar,

Respublika Komi, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3987-5686>;

eLibrary SPIN: 3705-2140; e-mail: volkarb@mail.ru

\*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author