

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПЯТИЛЕТНЕГО ПРОСПЕКТИВНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ МОЛОДЫХ ЛЫЖНИКОВ

© 2020 г. <sup>1,2</sup>Ю. Г. Солонин, <sup>1</sup>И. О. Гарнов, <sup>1</sup>Т. П. Логинова, <sup>1,2</sup>А. Л. Марков,  
<sup>1,2</sup>А. А. Черных, <sup>1,2</sup>Е. Р. Бойко

<sup>1</sup>Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), г. Сыктывкар; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», г. Сыктывкар

*Цель* исследования – оценка влияния 5-летних занятий лыжными гонками на физическую работоспособность молодых мужчин-северян. *Методы.* Изучены антропометрические данные и показатели кровообращения, дыхания и энергетики у 20 лыжников-гонщиков Республики Коми в возрасте от 15 до 20 лет. Спортсмены протестированы повышающимися нагрузками до отказа на велоэргометре с использованием системы OxyconPro (Германия). Повторные исследования проведены через 5 лет. *Результаты.* За 5 лет наблюдения произошло повышение спортивной квалификации и статистически значимое увеличение массы тела и индекса массы тела, снижение показателей центральной гемодинамики: частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления систолического (АДс), пульсового давления, двойного произведения (ДП) и вегетативного индекса Кердо в покое, свидетельствующие о повышении степени тренированности. При нагрузке 200 Вт обнаружено снижение ЧСС, ДП, потребления кислорода (ПК) и энерготрат и увеличение коэффициента полезного действия, что говорит об экономизации реакций кровообращения и энергетики при стандартной работе и подтверждает повышенную тренированность. Однако при максимальной нагрузке через 5 лет выявилось увеличение АДс со  $(185,0 \pm 15,2)$  до  $(195,0 \pm 11,6)$  мм рт. ст.,  $p = 0,038$ ; уменьшение максимального потребления кислорода с  $(67,4 \pm 6,20)$  до  $(61,4 \pm 7,21)$  мл/мин×кг,  $p = 0,012$ ; ПК на пороге анаэробного обмена (ПАНО) с  $(4\,036 \pm 594)$  до  $(3\,623 \pm 593)$  мл/мин,  $p = 0,040$ ; и ЧСС на ПАНО с  $(171,0 \pm 11,6)$  до  $(157,0 \pm 16,5)$  уд/мин,  $p = 0,005$ , что указывает на снижение предельных функциональных возможностей организма лыжников-северян. Удельная физиологическая стоимость единицы работы по разным показателям кровообращения, дыхания и энергетики не имела статистически значимых изменений ( $p = 0,082-0,935$ ). *Выводы:* снижение уровня физической работоспособности по аэробному и анаэробному порогам свидетельствует не только о начинающихся возрастных изменениях в организме спортсменов-северян, но и о возможном негативном влиянии на этот процесс условий проживания на Севере.

**Ключевые слова:** лыжники, Север, велоэргометрические нагрузки, физическая работоспособность, проспективное исследование

## RESULTS OF A FIVE-YEARS FOLLOW-UP OF THE PHYSICAL PERFORMANCE OF YOUNG MALE SKIERS

<sup>1,2</sup> Iu. G. Solonin, <sup>1</sup> I. O. Garnov, <sup>1</sup> T. P. Loginova, <sup>1,2</sup> A. L. Markov, <sup>1,2</sup> A. A. Chernykh, <sup>1,2</sup> E. R. Bojko

<sup>1</sup>Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar;  
<sup>2</sup>Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

*The aim* of the study was to assess physical performance over a five-years period in young male cross-country skiers living in the Russian North. *Methods.* Anthropometric data and parameters of blood circulation, respiration and energy expenditure were studied in 20 skiers aged 15-20 years in the Komi Republic. A bicycle ergometer with Oxycon Pro system (Germany) was the main assessment instrument. Tests were performed twice - at the beginning and in the end of a five-years period. *Results.* A statistically significant increase in body weight and body mass index, a decrease in heart rate (HR), systolic blood pressure, pulse pressure, double product (DP) and the vegetative Kerdo index at rest were observed indicating an increase in physical fitness. At a load of 200 W, a decrease in heart rate, DP, oxygen consumption and energy expenditure and an increase in efficiency were found suggesting economization of blood circulation and energy reactions during standard operation. However, at maximum load an increase in blood pressure from  $(185.0 \pm 15.2)$  to  $(195.0 \pm 11.6)$  mm Hg  $p = 0.038$ ; a decrease in the maximum oxygen consumption from  $(67.4 \pm 6.20)$  to  $(61.4 \pm 7.21)$  ml / min × kg,  $p = 0.012$ ; decreased oxygen consumption on the brink of anaerobic metabolism from  $(4,036 \pm 594)$  to  $(3,623 \pm 593)$  ml / min,  $P = 0.040$ ; and heart rate on the brink of anaerobic metabolism from  $(171.0 \pm 11.6)$  to  $(157.0 \pm 16.5)$  bpm,  $p = 0.005$  was revealed suggesting a decrease in the maximum functional capabilities of the body. Physiological costs of a unit of work for various indicators of blood circulation, respiration, and energy expenditure have not changed over a five-years period ( $p$  values varied from 0.082 to 0.935). *Conclusions.* The observed decrease in the level of physical performance by aerobic and anaerobic thresholds may suggest not only the beginning of age-related changes in the body of athletes in the North, but may also reflect possible negative impact of living conditions in the North.

**Key words:** skiers, North, bicycle ergometric loads, physical performance, prospective study

### Библиографическая ссылка:

Солонин Ю. Г., Гарнов И. О., Логинова Т. П., Марков А. Л., Черных А. А., Бойко Е. Р. Результаты пятилетнего проспективного наблюдения за физической работоспособностью молодых лыжников // Экология человека. 2020. № 4. С. 26–32.

### For citing:

Solonin Iu. G., Garnov I. O., Loginova T. P., Markov A. L., Chernykh A. A., Bojko E. R. Results of a Five-Years Follow-up of the Physical Performance of Young Male Skiers. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 4, pp. 26-32.

Перспективные физиологические исследования различных групп спортсменов и населения в прошлом веке всегда приносили ценные результаты при оценке возрастных изменений и сдвигов в физической тренированности человека [10, 15] и не потеряли своей актуальности в XXI веке [13, 14]. В литературе чаще встречаются сведения об изменениях в организме людей в широком возрастном диапазоне — от подросткового до зрелого и пожилого возраста [11, 19]. Лишь единичные работы посвящены проспективному изучению функционального состояния растущего организма обычных подростков [17] и молодых хоккеистов [9]. В связи с этим нам представлялось интересным посмотреть, насколько и в какую сторону изменяются антропометрические данные и показатели кровообращения, дыхания, энергетики и физической работоспособности за 5 лет спортивной деятельности у молодых лыжников-северян, принимающих ежегодное активное участие в тренировках и соревнованиях.

Целью работы является оценка влияния 5-летних занятий лыжными гонками на физическую работоспособность молодых мужчин-северян. Задачами исследований было изучить у них изменения за 5 лет антропометрических данных и показателей кровообращения, дыхания и энергетики в покое, при стандартной нагрузке и при максимальной нагрузке на велоэргометре.

#### Методы

В базе данных Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, содержащей материалы более 200 протестированных велоэргометрическими нагрузками спортсменов, были проанализированы протоколы исследований наиболее многочисленной группы лыжников-гонщиков, занимающихся спортом на открытом воздухе и подвергающихся прямому воздействию суровых природно-климатических условий Севера. Критериями включения спортсменов в выборку для решения поставленных задач служили следующие ограничения: вид спорта (лыжные гонки), пол (мужской), возраст (подростковый и юношеский, 15–20 лет), спортивная квалификация (не ниже 1-го взрослого разряда), сезон обследования (осень), интервал обследования (5 лет). Таких спортсменов в базе оказалось 20 человек. Все они взяты в разработку. На начало обследования это были восемь перворазрядников (ПР), восемь кандидатов в мастера спорта (КМС) и четыре мастера спорта (МС).

Обследование было организовано осенью в период начала годового тренировочного цикла (сентябрь — октябрь) и проводилось обычно через день после отдыха от тренировок, в первой половине рабочего дня в лаборатории Института физиологии в Сыктывкаре. От каждого спортсмена получено письменное согласие на добровольное участие в обследовании и тестировании на велоэргометре. Протокол обследования был одобрен локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии (заключение от 01.11.2013 г.)

Обследование тех же 20 спортсменов было повторено через 5 лет с привлечением той же бригады исследователей-физиологов. Таким образом, исследование носит экспериментальный характер и является продольным (проспективным) с повторением наблюдения за одними и теми же людьми (связанные выборки). В обоих случаях в помещении лаборатории поддерживались оптимальные условия микроклимата.

У спортсменов определяли рост и массу тела, а показатели кровообращения — частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление систолическое (АДс) и диастолическое (АДд) в покое измеряли с помощью автоматического прибора модели UA-767 (A&D Company, Limited, Япония). При нагрузках показатели артериального давления определяли по Короткову. Рассчитывали показатели: пульсовое давление (ПД), среднестатистическое давление по Хикему (СДД), двойное произведение по Робинсону (ДП), вегетативный индекс Кердо (ВИК).

Спортсмены были протестированы нагрузками до отказа на велоэргометре с применением диагностической системы Oxycon Pro (CareFusion, Erich Jaeger, Германия) с регистрацией и расчетом кардиореспираторных показателей: ЧСС, АДс, АДд, СДД, ДП, частоты дыхания (ЧД), дыхательного объема (ДО), минутного объема дыхания (МОД), потребления кислорода (ПК), дыхательного коэффициента (ДК), энерготрат (ЭТ), кислородного пульса (КП), дыхательного эквивалента (ДЭ), коэффициента использования кислорода (КИО<sub>2</sub>), максимального потребления кислорода (МПК), коэффициента полезного действия (КПД), порога анаэробного обмена (ПАНО).

После 5-минутного сидения на велоэргометре лыжники выполняли 2-минутную работу мощностью 120 Вт с последующим ступенчатым приростом нагрузки на 40 Вт каждые две минуты при частоте pedalирования 60 об/мин. Тест продолжался до отказа.

Для сравнительной оценки реакций организма спортсменов на последней минуте нагрузки, которая различалась у разных лыжников, мы ввели понятие «удельная физиологическая стоимость единицы работы» (пульсовая, прессорная, сердечная, респираторная, вентиляционная, кислородная, энергетическая), значения которой образуются путем деления абсолютных величин соответствующих физиологических показателей при максимальной нагрузке на мощность механической работы в ваттах (к примеру, пульсовая — ЧСС/Вт или уд/Вт, прессорная — АДс/Вт или мм/Вт, сердечная — ДП/Вт или усл. ед./Вт, респираторная — ЧД/Вт или цикл/Вт, вентиляционная — МОД/Вт или л/Вт, кислородная — ПК/Вт или мл/Вт, энергетическая — ЭТ/Вт или кал/Вт). По нашему мнению, они позволяют судить о том, во что обходится организму спортсмена единица мощности работы, и обоснованно сравнивать разных индивидуумов или их данные при проспективном наблюдении.

Математическую обработку полученных результатов проводили с помощью программ Statistica 6.0

и Biostat (версия 4.03) с проверкой вариационных рядов на характер распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка. Статистическую значимость различий по анализируемым показателям между первым и вторым обследованием оценивали с помощью парного критерия Стьюдента [2]. Различия принимали значимыми при  $p < 0,05$  [7]. Результаты исследования в табл. 1–3 представлены в виде среднего арифметического значения показателя и стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ). В табл. 4 представлено число лиц с увеличением, уменьшением или отсутствием изменений значений физиологических параметров через 5 лет после первого обследования. В группу «Нет изменений» попадали спортсмены, у которых во время второго обследования показатели колебались в пределах  $\pm 3\%$  от значений первого исследования.

**Результаты**

За 5 лет наблюдения у большинства лыжников (13 спортсменов) возросла спортивная квалификация: четверо ПР стали КМС, четверо ПР стали МС, пятеро КМС стали МС. И лишь семеро остались в прежнем спортивном звании.

За этот период по большинству показателей в покое не установлено статистически значимых сдвигов (см. табл. 1). Лишь по ряду показателей выявлены существенные изменения. Статистически значимо увеличились масса тела (в среднем на 4 кг), индекс

массы тела – ИМТ (в среднем на  $0,8 \text{ кг/м}^2$ ), снизились ЧСС (в среднем на 7 уд/мин), АДс (в среднем на 7 мм рт. ст.), ПД (в среднем на 10 мм рт. ст.), ДП (в среднем на 12 усл. ед.) и ВИК (в среднем на 21 %).

При нагрузке 200 Вт (см. табл. 2) через 5 лет статистически значимо снизились ЧСС (в среднем на 10 уд/мин) и ее рабочий прирост (в среднем на 4 уд/мин,  $p = 0,049$ ), ДП (в среднем на 20 усл. ед.), ПК (в среднем на 156 мл/мин), ЭТ (в среднем на 672 кал/мин) и увеличился КПД (в среднем на 1,1 %).

Таблица 2

**Показатели кровообращения, дыхания и энергетики у 20 лыжников на последней минуте нагрузки 200 Вт ( $M \pm SD$ )**

Показатель	Первое наблюдение	Второе наблюдение	Уровень различий, p
ЧСС, уд/мин	143,0±13,5	133,0±11,6	0,022
АДс, мм рт. ст.	167,0±12,6	165,0±13,8	0,550
АДд, мм рт. ст.	70,0±15,9	71,0±11,0	0,989
ДП, усл. ед.	239,0±33,8	219,0±26,7	0,050
СДД, мм рт. ст.	102,0±11,2	102,0±7,9	0,849
ЧД, цикл/мин	29,20±6,00	26,50±5,20	0,154
ДО, мл	2334±340	2386±408	0,695
МОД, л	66,80±10,10	61,90±8,70	0,085
ДК, усл. ед.	0,89±0,06	0,92±0,05	0,112
ПК, мл/мин	2870±132	2714±146	0,002
ЭТ, кал/мин	14105±722	13433±765	0,009
КП, мл/уд	20,00±1,88	20,60±2,01	0,424
ДЭ, усл. ед.	23,10±3,38	22,70±2,61	0,871
КИО <sub>2</sub> , мл/л	43,70±6,50	44,50±5,29	0,695
КПД, %	20,30±1,01	21,40±1,24	0,009

Таблица 1

**Антропометрические и физиологические показатели в покое у 20 лыжников в разные годы ( $M \pm SD$ )**

Параметр	Первое обследование	Второе обследование через 5 лет	Уровень различий, p
Возраст, лет	17,40±2,31	22,40±2,39	0,000
Рост, см	174,80±4,01	176,70±4,54	0,308
Масса тела, кг	67,40±3,57	71,40±4,50	0,006
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	22,00±1,06	22,80±1,08	0,019
ЧСС, уд/мин	59,0±1,0	52,0±0,6	0,037
АДс, мм рт. ст.	120,0±9,5	113,0±12,8	0,027
АДд, мм рт. ст.	74,0±10,2	77,0±8,8	0,264
ПД, мм рт. ст.	46,0±10,4	36,0±10,2	0,007
ДП, усл. ед.	71,0±14,5	59,0±10,0	0,006
СДД, мм рт. ст.	90,0±8,7	89,0±9,0	0,607
ВИК, %	-29,0±30,9	-50,0±25,2	0,048
ЧД, цикл/мин	15,10±3,77	15,20±4,46	0,957
ДО, мл	703±137	681±146	0,646
МОД, л	10,50±2,04	10,00±1,85	0,408
ДК, усл. ед.	0,76±0,05	0,80±0,05	0,010
ПК, мл/мин	366,0±42,5	354,0±62,6	0,588
ЭТ, кал/мин	1739±204	1702±312	0,725
КП, мл/уд	7,60±2,26	7,40±1,25	0,665
ДЭ, усл. ед.	28,80±5,34	28,30±3,80	0,808
КИО <sub>2</sub> , мл/л	35,80±6,91	35,90±4,74	0,797

При максимальной нагрузке (см. табл. 3) через 5 лет статистически значимо увеличились АДс (в среднем на 10 мм рт. ст.), ДК (в среднем на 0,06) и уменьшились МПК/кг (в среднем на 6 мл/мин × кг), ПК (в среднем на 413 мл/мин) на ПАНО и ЧСС (в среднем на 14 уд/мин) на ПАНО. Большинство показателей, включая удельную физиологическую стоимость физической нагрузки, не имели значимых изменений ( $p = 0,082-0,935$ ).

Индивидуальный анализ данных показал, что через 5 лет после первого обследования далеко не у всех спортсменов отмечаются однонаправленные сдвиги параметров (табл. 4). Например, у пяти лыжников при сохранении спортивного мастерства, а у десяти даже на фоне повышения спортивной квалификации наблюдалось снижение значений показателя МПК/кг. Этот факт лишней раз подчеркивает необходимость учитывать индивидуальные особенности организма у элитных спортсменов. Следует отметить, что направленность изменений аэробного порога не зависела от возраста лыжников. Средний возраст пяти спортсменов с приростом МПК/кг составил 17 лет, а средний возраст 15 лыжников со снижением МПК/кг составил около 18 лет ( $p = 0,613$ ).

Таблица 3

Показатели кровообращения, дыхания и энергетики у 20 лыжников на последней минуте нагрузки до отказа (M ± SD)

Показатель	Первое наблюдение	Второе наблюдение	Уровень различий, р
Длительность нагрузки, мин	12,00±1,71	12,70±1,76	0,315
Нагрузка, Вт	352,0±40,2	354,0±37,3	0,787
ЧСС, уд/мин	183,0±9,4	176,0±15,4	0,226
АДс, мм рт. ст.	185,0±15,2	195,0±11,6	0,038
АДд, мм рт. ст.	74,0±19,8	72,0±17,2	0,567
ДП, усл. ед.	339,0±34,4	344,0±34,4	0,665
ЧД, цикл/мин	51,6±13,1	46,6±12,4	0,223
ДО, мл	2880±352	3042±446	0,267
МОД, л	146,5±33,8	141,4±42,4	0,558
ДК, усл. ед.	1,06±0,06	1,12±0,08	0,026
ПК, мл/мин	4475±538	4291±499	0,317
МПК, мл/мин	4552±489	4377±481	0,234
МПК, мл/мин×кг	67,40±6,20	61,40±7,21	0,012
ЭТ, кал/мин	22937±2893	22318±2810	0,482
КП, мл/уд	24,40±2,61	24,40±2,08	0,882
ДЭ, усл. ед.	31,30±5,39	32,50±7,57	0,808
КИО <sub>2</sub> , мл/л	31,70±6,55	32,30±7,95	0,860
КПД, %	22,10±2,18	22,80±1,63	0,449
ЧСС/Вт, уд/Вт	0,520±0,052	0,500±0,044	0,082
АДс/Вт, мм/Вт	0,530±0,077	0,550±0,062	0,309
ДП/Вт, усл. ед./Вт	0,970±0,133	0,970±0,091	0,935
ЧД/Вт, цикл/Вт	0,140±0,032	0,130±0,031	0,108
МОД/Вт, л/Вт	0,420±0,081	0,390±0,093	0,350
ПК/Вт, мл/Вт	12,70±1,30	12,10±0,83	0,218
ЭТ/Вт, кал/Вт	65,30±6,64	63,00±4,65	0,343
ПАНО:			
Нагрузка, Вт	308,0±40,5	290,0±50,0	0,313
ПК, мл/мин	4036±594	3623±593	0,040
ЧСС, уд/мин	171,0±11,6	157,0±16,5	0,005

Таблица 4

Изменения показавших статистически значимые сдвиги антропометрических и физиологических параметров через 5 лет у 20 лыжников (число лиц)

Параметр	Увеличение	Уменьшение	Нет изменений
Масса тела	18	2	0
ИМТ	16	0	4
В покое:			
АДс	7	12	1
ПД	5	14	1
ЧСС	3	15	2
ДП	3	16	1
ДК	15	5	0
При нагрузке 200 Вт:			
ЧСС	3	16	1
ДП	5	15	0
ПК	2	18	0
КПД	16	4	0
При нагрузке до отказа:			
АДс	16	3	1
ДК	14	6	0
МПК/кг	5	15	0

**Обсуждение результатов**

В результате 5-летних занятий лыжными гонками у молодых мужчин-северян статистически значимо возросли показатели физического развития (масса тела и ИМТ) и снизились параметры центральной гемодинамики (ЧСС, АДс, ПД, ДП и ВИК) в покое, свидетельствующие о повышении степени тренированности. При нагрузке 200 Вт на велоэргометре также обнаружено снижение ЧСС и её рабочего прироста, ДП, а также ПК, ЭТ и КПД, что говорит об экономизации реакций гемодинамики и энергетики при стандартной нагрузке и подтверждает рост физической тренированности. Сопоставление изменений как ЧСС, так и прироста ЧСС свидетельствует о важной роли учета исходного состояния физиологических показателей в реакциях на физическую нагрузку [6]. При велоэргометрической нагрузке до отказа выявляется значимое увеличение АДс и уменьшение аэробного (по МПК/кг) и анаэробного порогов (по ЧСС и ПК на ПАНО), что указывает на снижение предельных функциональных возможностей организма лыжников-северян за 5 лет интенсивных тренировок. Таким образом, физиологические исследования в покое и при умеренных стандартных нагрузках выявляют рост тренированности у лыжников, а максимальная велоэргометрическая нагрузка выявляет начинающееся снижение физической работоспособности.

Следует обратить внимание на тот факт, что не у всех спортсменов происходили однозначные изменения в организме при проспективном наблюдении. Физическая работоспособность (по МПК/кг) увеличилась всего у пяти спортсменов: у двух оставшихся КМС, у двух ПР при переходе в МС и у одного ПР при переходе в МС. У большинства (15 лыжников), несмотря на стабильность или рост спортивного мастерства, этот показатель уменьшился: у одного оставшегося КМС, у четырех оставшихся МС, у двух ПР при переходе в КМС, у трех ПР при переходе в МС, у пяти КМС при переходе в МС. В целом для группы максимальные функциональные возможности уменьшились и по одному из анаэробных порогов: начальное значение ПК при ПАНО в среднем было на уровне 88,7 % от МПК, а через 5 лет стало на уровне 82,8 % от МПК.

Полученные результаты во многом согласуются с данными других проспективных исследований как спортсменов, так и обычных жителей разного возраста. В ряде работ [11, 12] также было показано, что с возрастом увеличиваются масса тела и ИМТ, но уменьшается МПК.

Классические проспективные исследования шведских физиологов показали, что функции кровообращения и дыхания неуклонно ухудшаются за 13 лет [15] и уменьшается МПК за 20 лет в среднем на 20 % [10] в результате детренированности. При 5-летнем наблюдении за активными лицами в возрасте 20–80 лет было установлено, что снижение массы тела уменьшает артериальное давление и риск развития сердечно-сосудистой патологии [16].

Что касается изменений физической работоспособности по данным МПК, то у молодых людей в диапазоне от 12 до 19 лет в США было найдено увеличение этого показателя [17]. Не обнаружено значимых сдвигов МПК у обычных жителей Голландии в диапазоне от 7–17 до 40–50 лет [18]. Выявлена стабилизация физической работоспособности в Швеции в возрасте от 16 до 34 лет и снижение ее на 24 % к 52 годам [19]. По данным Eriksen L. et al. [13], в Дании у жителей в диапазоне от 20 до 80 лет МПК заметно уменьшается. Проспективные исследования лыжников в Норвегии [14] показали, что за 30 лет от 26 к 56 годам МПК существенно снижается. Авторами сделан вывод, что продолжение активной жизни высокотренированных лыжников не останавливает снижения МПК с возрастом, но усиленная двигательная активность замедляет это снижение.

Шайхелисламова М. В. с соавторами [9] изучили состояние гемодинамики у юных хоккеистов и в контроле в возрасте 11–15 лет и нашли снижение с возрастом ЧСС и АДс и увеличение периферического сопротивления сосудов при нагрузке только у тренированных хоккеистов; в контрольной группе подростков наблюдали снижение сопротивления сосудов.

В ряде работ приводятся конкретные цифровые данные об изменениях МПК на единицу массы тела в год, позволяющие сопоставить темпы сдвигов показателя МПК/кг у жителей разных стран. Pate R. R. et al. [17] в США у молодых людей от 12 к 19 годам нашли увеличение МПК/кг на 0,55 мл/мин × кг в год. Проспективное исследование населения Швеции [19] выявило рост МПК/кг от 16 к 34 годам (с 40 до 41 мл/мин × кг) и его снижение к 52 годам. В Дании [13] изучали физическую работоспособность у жителей в возрасте от 18 к 90 годам и обнаружили, что МПК падает в среднем у мужчин на 0,26 мл/мин × кг за каждый год жизни. Проспективное исследование за 30 лет у лыжников Норвегии [14] показало, что с возрастом МПК/кг падает в среднем на 0,58 мл/мин × кг в год.

Интересно, что у наших молодых лыжников-северян (Республика Коми) выявлен наиболее высокий по сравнению с данными литературы темп снижения физической работоспособности по МПК/кг – 1,2 мл/мин × кг в год. Этот факт можно объяснить негативным влиянием суровых природно-климатических условий. Климат в Республике Коми более холодный, чем, например, в Швеции и даже Норвегии.

Что касается жителей Севера, то по ним имеются противоречивые данные. С одной стороны, не обнаружено значительных различий в гемодинамике в возрастном диапазоне 25–55 лет у мужчин в Тюменской области [5]. С другой стороны, у молодых мужчин, длительно находящихся на открытом воздухе, выявлено напряжение антиоксидантной системы [1], увеличение скорости старения пришлого населения Севера по сравнению с жителями средних широт по данным смертности и заболеваемости сердечно-

сосудистыми заболеваниями [4, 8] и ускорение процессов старения функций внешнего дыхания как по возрастам, так и по северному стажу в диапазоне 5–10 лет [3]. Наши данные по изменениям МПК/кг за 5 лет подтверждают выводы последних авторов об ускоренном старении организма северян.

К недостаткам нашего исследования можно отнести дефектность выборки – наличие в ней лыжников разного возраста (от 15 до 20 лет) и степени спортивного мастерства (от ПР до МС). В перспективе при продолжении работы и увеличении банка данных появится возможность получить репрезентативные выборки из спортсменов одного возраста и степени мастерства и тем самым уменьшить влияние на результат ошибок выборки. Другим недостатком данного исследования является не вполне контролируемый объем тренировочных и соревновательных нагрузок в течение 5 лет у каждого спортсмена. Хотя объем таких нагрузок задается тренером сборной команды республики, у каждого лыжника тренировочные и особенно соревновательные нагрузки имеют большие индивидуальные особенности. И наконец, при интерпретации результатов нашего исследования надо иметь в виду так называемый конфаундинг-эффект. За 5 лет проспективного наблюдения параллельно идут как минимум два процесса, влияющие на организм спортсмена и его физическую работоспособность: физические тренировки, способствующие совершенствованию физиологических функций организма и повышению его спортивной тренированности, и взросление, а также начавшееся старение, ослабляющее организм человека. Практически невозможно вычленить степень или долю влияния каждого фактора. При продолжении подобных исследований планируется использование контрольной выборки из неспортсменов. Примером таких корректных исследований влияния спортивной тренировки и возраста в пубертатном периоде является сопоставление показателей гемодинамики у юных хоккеистов и контрольной группы [9].

Ускоренное снижение уровня физической работоспособности у молодых лыжников-северян по аэробному и анаэробному порогам за 5 лет наблюдений, обнаруживаемое при предельных физических нагрузках, свидетельствует не только о начинающихся возрастных изменениях в организме спортсменов-северян, но и о возможном негативном влиянии на этот процесс суровых природно-климатических условий Севера.

#### Авторство

Солонин Ю. Г. предложил концепцию исследования, выбрал и обработал первичные данные, анализировал полученные результаты, подготовил первый вариант статьи; Гарнов И. О. внес существенный вклад в дизайн исследования, участвовал в эксперименте, получил материалы исследований, дорабатывал статью; Логинова Т. П. внесла существенный вклад в дизайн исследования, участвовала в эксперименте, получила материалы исследований, дорабатывала статью; Марков А. Л. провел статистическую

обработку данных, анализировал полученные результаты, дорабатывал и оформлял статью; Черных А. А. участвовал в эксперименте, получил материалы исследований, дорабатывал статью, переводил резюме на английский язык; Бойко Е. Р. работал с тренерами и спортсменами по организации эксперимента, внес существенный вклад в дизайн исследования, окончательно утвердил рукопись статьи.

Солонин Юрий Григорьевич – ORCID 0000-0003-2737-9738; SPIN 5646-6351

Гарнов Игорь Олегович – ORCID 0000-0002-2604-2773; SPIN 3555-3465

Логинова Татьяна Петровна – ORCID 0000-0001-7003-6664; SPIN 3954-8230

Марков Александр Леонидович – ORCID 0000-0003-0152-6250; SPIN 3705-2140

Черных Алексей Анатольевич – ORCID 0000-0002-1574-5588; SPIN 4603-4692

Бойко Евгений Рафаилович – ORCID 0000-0002-5561-0936; SPIN 5402-8176

### Список литературы

1. Бойко Е. Р., Евдокимов В. Г., Вахнина Н. А., Шадрина В. Д., Потолицына Н. Н., Варламова Н. Г., Кочан Т. И., Канева А. М., Солонин Ю. Г., Логинова Т. П., Есева Т. В., Кеткина О. А., Рогачевская О. В., Людина А. Ю. Сезонные аспекты оксидативного стресса у человека в условиях Севера // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2007. Т. 41, № 3. С. 44–48.

2. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. С. 286–289.

3. Ким Л. Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука, 2015. 216 с.

4. Никитин Ю. П., Хаснулин В. И., Гудков А. Б. Современные проблемы северной медицины и усилия ученых по их решению // *Вестник САФУ. Серия: Медико-биологические науки*. 2014. № 3. С. 63–72.

5. Соловьева С. В., Панин С. В., Наймушина А. Г. Физиологические механизмы компенсаторно-приспособительных реакций системы кровообращения у жителей Севера Тюменской области и г. Тюмени // *Фундаментальные исследования*. 2010. № 7. С. 76–80.

6. Солонин Ю. Г. Роль исходного состояния физиологических функций в реакциях на физическую нагрузку // *Физиология человека*. 1987. Т. 13, № 1. С. 96–102.

7. Унгурану Т. Н., Гржибовский А. М. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // *Экология человека*. 2011. № 5. С. 55–60.

8. Четкина И. И. Особенности процессов старения трудоспособного населения на Севере: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 2010. 26 с.

9. Шайхелисламова М. В., Ситдииков Ф. Г., Зефирова Т. Л., Дикопольская Н. Б. Состояние гемодинамики у юных хоккеистов в пре- и пубертатный периоды развития // *Физиология человека*. 2015. Т. 41, № 4. С. 91–99.

10. Astrand I., Astrand P.-O., Hallback I., Kilbom A. Reduction in maximal oxygen uptake with age // *J. Appl. Physiol.* 1973. Vol. 35, N 5. P. 649–654.

11. Edvardsen E., Hansen B. H., Holme I. M., Dyrsstad S. M., Anderssen S. A. Reference values for cardiorespiratory response and fitness on the treadmill in a 20-to 85-year-old population // *Chest*. 2013. Vol. 144, N 1. P. 241–248.

12. Erber Oakkar E., Stevens J., Bradshaw P. T., Cai J., Pereira K. M., Popkin B. M., Gordon-Larsen P., Young D. R., Ghai N. R., Caan B., Quinn V. P. Longitudinal study of acculturation and BMI change among Asian American men // *Prev. Med.* 2015. Vol. 73. P. 15–21.

13. Eriksen L., Gronbaek M., Helge J. W., Tolstrup J. S. Cardiorespiratory fitness in 16025 adults aged 18-91 years and associations with physical activity and sitting time // *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2016. Vol. 26, N 12. P. 1435–1443.

14. Grimsmo J., Arnesen H., Maehlum S. Changes in cardiorespiratory function in different groups of former and still active male cross-country skiers: a 28-30-year follow-up study // *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2010. Vol. 20, N 1. P. 151–161.

15. Kanstrup I. L., Ekblom B. Influence of age and physical activity on central hemodynamics and lung function in active adults // *J. Appl. Physiol. Environ. Exerc. Physiol.* 1978. Vol. 45, N 5. P. 709–717.

16. Marcus M. R., Itterman T., Baumeister S. E., Troitzsch P., Schipf S., Lorbeer R., Aumann N., Wallaschofski H., Dörr M., Rettig R., Völzke H. Long-term changes in body weight are associated with changes in blood pressure levels // *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2015. Vol. 25, N 3. P. 305–311.

17. Pate R. R., Wang C. Y., Dowda M., Farrell S. W., O'Neill J. R. Cardiorespiratory fitness levels among US youth 12 to 19 years of age: findings from the 1999-2002 National Health and Nutrition Examination Survey // *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2006. Vol. 160, N 10. P. 1005–1012.

18. Van Oort C., Jackowski S. A., Eisenmann J. C., Sherar L. B., Bailey D. A., Mirwald R., Baxter-Jones A. D. Tracking of aerobic fitness from adolescence to mid-adulthood // *Ann. Hum. Biol.* 2013. Vol. 40, N 6. P. 547–553.

19. Westerstaal M., Jansson E., Barnekow-Berqkvist M., Aasa U. Longitudinal changes in physical capacity from adolescence to middle age in men and women // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8, N 1. P. 147–167.

### References

1. Boiko E. R., Evdokimov V. G., Vakhnina N. A., Shadrina V. D., Potolitsyna N. N., Varlamova N. G., Kochan T. I., Kaneva A. M., Solonin Yu. G., Loginova T. P., Eseva T. V., Ketkina O. A., Rogachevskaya O. V., Lyudinina A. Yu. Seasonal aspects of oxidative stress in humans in the North. *Aviakosmicheskaya i ehkologicheskaya meditsina* [Aerospace and Environmental Medicine]. 2007, 41 (3), pp. 44-48. [In Russian]

2. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Biomedical statistics]. Moscow, Praktika Publ., 1999, 459 p.

3. Kim L. B. *Transport kisloroda pri adaptatsii cheloveka k usloviyam Arktiki i kardiorespiratornoi patologii* [Oxygen transport during human adaptation to the conditions of the Arctic and cardiorespiratory pathology]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015, 216 p.

4. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Modern problems of northern medicine and the efforts of scientists to solve them. *Vestnik SAFU. Seriya: Mediko-biologicheskije nauki* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Biomedical Sciences]. 2014, 3, pp. 63-72. [In Russian]

5. Solov'eva S. V., Panin S. V., Naimushina A. G. Physiological mechanisms of compensatory-adaptive reactions of the circulatory system in residents of the North of the Tyumen region and the city of Tyumen. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2010, 7, pp. 76-80. [In Russian]

6. Solonin Yu. G. The role of the initial state of physiological functions in reactions to physical activity. *Fiziologiya cheloveka*. 1987, 13 (1), pp. 96-102. [In Russian]
7. Unguryanu T. N., Grzhibovskii A. M. Brief recommendations on the description, statistical analysis and presentation of data in scientific publications. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 5, pp. 55-60. [In Russian]
8. Chechetkina I. I. *Osobennosti protsessov stareniya trudospobnogo naseleniya na Severe. Avtoref. kand. dis.* [Features of the aging process of the working population in the North. Avtoref. cand. diss.]. Novosibirsk, 2010, 26 p.
9. Shaikhelislamova M. V., Sitdikov F. G., Zefirov T. L., Dikopol'skaya N. B. The state of hemodynamics in young hockey players in the pre- and pubertal periods of development. *Fiziologiya cheloveka*. 2015, 41 (4), pp. 91-99. [In Russian]
10. Astrand I., Astrand P.-O., Hallback I., Kilbom A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J. Appl. Physiol.* 1973, 35 (5), pp. 649-654.
11. Edvardsen E., Hansen B. H., Holme I. M., Dyrstad S. M., Anderssen S. A. Reference values for cardiorespiratory response and fitness on the treadmill in a 20- to 85-year-old population. *Chest*. 2013, 144 (1), pp. 241-248.
12. Erber Oakkar E., Stevens J., Bradshaw P. T., Cai J., Perreira K. M., Popkin B. M., Gordon-Larsen P., Young D. R., Ghai N. R., Caan B., Quinn V. P. Longitudinal study of acculturation and BMI change among Asian American men. *Prev. Med.* 2015, 73, pp. 15-21.
13. Eriksen L., Gronbaek M., Helge J. W., Tolstrup J. S. Cardiorespiratory fitness in 16025 adults aged 18-91 years and associations with physical activity and sitting time. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2016, 26 (12), pp. 1435-1443.
14. Grimsmo J., Arnesen H., Maehlum S. Changes in cardiorespiratory function in different groups of former and still active male cross-country skiers: a 28-30-year follow-up study. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2010, 20 (1), pp. 151-161.
15. Kanstrup I. L., Ekblom B. Influence of age and physical activity on central hemodynamics and lung function in active adults. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1978, 45 (5), pp. 709-717.
16. Marcus M. R., Itermann T., Baumeister S. E., Troitzsch P., Schipf S., Lorbeer R., Aumann N., Wallaschofski H., Dörr M., Rettig R., Völzke H. Long-term changes in body weight are associated with changes in blood pressure levels. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2015, 25 (3), pp. 305-311.
17. Pate R. R., Wang C. Y., Dowda M., Farrell S. W., O'Neill J. R. Cardiorespiratory fitness levels among US youth 12 to 19 years of age: findings from the 1999-2002 National Health and Nutrition Examination Survey. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2006, 160 (10), pp. 1005-1012.
18. Van Oort C., Jackowski S. A., Eisenmann J. C., Sherar L. B., Bailey D. A., Mirwald R., Baxter-Jones A. D. Tracking of aerobic fitness from adolescence to mid-adulthood. *Ann. Hum. Biol.* 2013, 40 (6), pp. 547-553.
19. Westerstahl M., Jansson E., Barnekow-Berqkvist M., Aasa U. Longitudinal changes in physical capacity from adolescence to middle age in men and women. *Sci. Rep.* 2018, 8 (1), pp. 147-167.

**Контактная информация:**

Солонин Юрий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Адрес: 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50  
E-mail: solonin@physiol.komisc.ru