

УДК 613.72:616.1

DOI 10.34014/2227-1848-2019-1-76-84

КАРДИОРЕСПИРАТОРНАЯ СИСТЕМА ПРИ ВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОМ ТЕСТИРОВАНИИ У ЛЫЖНИКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ТРЕНИРОВАННОСТИ*

Ю.Г. Солонин^{1,2}, Т.П. Логинова¹, И.О. Гарнов¹,
А.Л. Марков^{1,2}, А.А. Черных^{1,2}, Е.Р. Бойко^{1,2}

¹ГБУН Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия;

²ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина»,
г. Сыктывкар, Россия

e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

Цель работы – изучить влияние степени тренированности на организм лыжников-гонщиков Республики Коми (РК) в покое и при велоэргометрических нагрузках по показателям кардиореспираторной системы.

Материалы и методы. Обследованы лыжники-гонщики мужского пола с разной степенью тренированности: 22 перворазрядника (ПР), 22 кандидата в мастера спорта (КМС) и 22 мастера спорта (МС). Спортсмены протестированы нагрузками «до отказа» на велоэргометре с использованием системы Охусоп Про (Германия) и изучением комплекса кардиореспираторных показателей с расчетом максимального потребления кислорода (МПК) и удельной физиологической стоимости единицы работы.

Результаты. В состоянии покоя и при стандартной физической нагрузке 200 Вт статистически значимо повышенную степень тренированности среди лыжников-гонщиков РК демонстрируют МС по таким показателям кардиореспираторной системы, как частота сердечных сокращений (ЧСС), двойное произведение (ДП) и кислородный пульс (КП). При нагрузке 200 Вт статистически значимые различия между ПР и КМС, свидетельствующие об их разной степени тренированности, выявляются по значениям ЧСС, ДП, частоты дыхания, минутного объема дыхания и коэффициента использования кислорода. При максимальной нагрузке повышенная степень тренированности обнаруживается у МС по мощности и длительности нагрузки на велоэргометре, по удельной пульсовой, прессорной и сердечной стоимости единицы работы, по валовому и удельному значению МПК. У КМС по сравнению с ПР при нагрузке «до отказа» о повышенной степени тренированности можно судить по значению ЧСС, по удельной пульсовой и вентиляционной стоимости единицы работы. Организм спортсменов при нагрузке «до отказа» работает более эффективно, чем при умеренной нагрузке 200 Вт. Степень тренированности у лыжников-гонщиков РК проявляется в экономизации функций кардиореспираторной системы как в покое, так и при стандартных велоэргометрических нагрузках, а также в показателях удельной физиологической стоимости единицы работы при нагрузках «до отказа» и в повышенных значениях МПК.

Ключевые слова: лыжники-гонщики, Республика Коми, степень тренированности, велоэргометрические нагрузки, кардиореспираторная система, максимальное потребление кислорода.

Введение. Участие в лыжных гонках связано с большим напряжением всех систем организма и в результате тренирует такое важное качество спортсмена, как выносливость [1]. В литературе большое внимание

уделяется изучению у лыжников-гонщиков показателей кардиореспираторной системы в лабораторных условиях при тестировании физическими нагрузками разной интенсивности с целью контроля за функциональным состоянием спортсменов, оценки физической работоспособности и успешности тренировок [2–12]. Однако нам не встретились работы по сравнительному изучению состояния кардио-

* Работа выполнена в рамках базового бюджетного финансирования по теме ГР № АААА-А17-117012310157-7.

респираторной системы при велоэргометрических нагрузках у лыжников-северян, имеющих разные степени спортивной подготовленности.

Цель исследования. Сравнить физиологические показатели кардиореспираторной системы в покое и при ступенчато возрастающих «до отказа» велоэргометрических нагрузках у лыжников-гонщиков Республики Коми с разной спортивной квалификацией для выявления влияния степени тренированности на организм спортсменов.

Материалы и методы. Обследованы лыжники-гонщики мужского пола, члены сборной команды Республики Коми, имеющие достаточно высокую спортивную подготовку. Для сравнения выделены 3 группы спортсменов: 22 лыжника 1-го взрослого разряда (ПР), 22 кандидата в мастера спорта (КМС) и 22 мастера спорта (МС).

Обследование проходило в период начала годового тренировочного цикла (сентябрь-ноябрь) и проводилось обычно через день после отдыха от тренировок, в первой половине рабочего дня в лаборатории Института физиологии Коми НЦ УрО РАН в Сыктывкаре. От каждого спортсмена получено письменное согласие на участие в тестировании на велоэргометре. Протокол обследования одобрен локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН.

У спортсменов определяли рост и массу тела. Показатели кровообращения: частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление систолическое (АДС) и диастолическое (АДД) в покое – измеряли автоматическим прибором модели UA-767 (Япония). При нагрузках показатели артериального давления определяли по Короткову. Рассчитывали индекс массы тела (ИМТ) и двойное произведение по Робинсону (ДП).

Спортсмены были протестированы нагрузками «до отказа» на велоэргометре с помощью системы Oхусон Pro (Германия) с регистрацией и расчетом кардиореспираторных показателей: ЧСС, АДС, АДД, 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 (КИО₂), максимального потребления кислорода (МПК), коэффициента полезного действия (КПД).

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

Для сопоставимой оценки реакций организма спортсменов на последней минуте нагрузки, которая различалась у разных лыжников, мы ввели понятие удельной физиологической стоимости единицы работы (пульсовой, прессорной, сердечной, респираторной, вентиляционной, кислородной, энергетической). Их значения получаются путем деления абсолютных величин соответствующих физиологических показателей при максимальной нагрузке на мощность механической работы в ваттах: 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, данные величины позволяют говорить о том, во что обходится организму спортсмена единица мощности работы, и на этой основе сравнивать разных индивидуумов или обследуемые выборки.

Полученные материалы подвергнуты статистической обработке с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 и Biostat (версия 4.03) с проверкой вариационных рядов на характер распределения (по критерию Шапиро–Уилка). В нижепредставленных таблицах приведены средние арифметические величины с их ошибками ($M \pm m$). Различия между выборками спортсменов принимали статистически значимыми при $p < 0,05$. Корреляционный анализ проводили по Пирсону.

Результаты и обсуждение. Данные табл. 1 показывают, что сопоставляемые по тренированности выборки статистически значимо различаются по возрасту и спортивному ста-

жу, что вполне закономерно. Мастера спорта по сравнению с перворазрядниками имеют большую длину и массу тела. Но по значениям ИМТ выборки не различаются. По всем физиологическим показателям в покое отсут-

ствуют различия между ПР и КМС. У МС по сравнению с ПР статистически значимо выше КП и ниже ЧСС и ДП, а по сравнению с КМС у них статистически значимо выше КП и ниже ДП.

Таблица 1

Антропометрические и физиологические показатели у лыжников в покое (M±m)

Показатели	ПР, n=22	КМС, n=22	МС, n=22
Возраст, лет	16,40±0,22	18,8±0,3*	21,20±0,34*^
Спортивный стаж, лет	6,00±0,23	8,70±0,24*	11,10±0,25*^
Длина тела, см	174,30±0,98	176,6±1,2	178,60±1,17^
Масса тела, кг	68,2±1,0	68,90±0,89	71,50±1,03^
ИМТ, кг/м ²	22,4±0,3	22,10±0,28	22,40±0,26
ЧСС, уд./мин	58,0±1,4	56,0±1,5	52,0±1,9^
АДС, мм рт. ст.	119,0±2,2	119,0±1,8	118,0±2,5
АДД, мм рт. ст.	77,0±1,3	75,0±1,6	75,0±1,9
ДП, усл. ед.	69,0±1,7	67,0±1,9	61,0±2,1*^
ЧД, цикл/мин	15,4±0,5	14,4±0,7	14,9±0,6
ДО, мл	687±22	688±31	723±34
МОД, л	10,4±0,4	9,7±0,5	10,4±0,4
ДК, усл. ед.	0,740±0,008	0,750±0,007	0,760±0,009
ПК, мл/мин	356,0±13,8	338,0±14,1	356,0±14,6
ЭТ, кал/мин	1680±65	1600±67	1690±69
КП, мл/уд.	6,20±0,29	5,90±0,32	9,10±0,37*^
ДЭ, усл. ед.	29,60±0,72	28,80±0,69	29,40±0,85
КИО ₂ , мл/л	34,50±0,67	35,10±0,78	34,40±0,94

Примечание. Здесь и в последующих таблицах: * – статистически значимые различия ($p < 0,05$) с данными предыдущей колонки, ^ – с данными у ПР.

При стандартной нагрузке 200 Вт между группами спортсменов нет заметных различий по АДС, ДО, ДК, ПК, ЭТ, ДЭ и КПД (табл. 2). У КМС по сравнению с ПР статистически значимо выше КИО₂ и ниже ЧД и МОД. У МС по сравнению с ПР значимо выше АДД и КП и ниже ЧД. У МС по сравнению с КМС статистически значимо выше АДД и КП. Таким образом, с повышением степени спортивного мастерства в группах существенно снижаются ЧСС и ДП, т.е.

уменьшается пульсовая и сердечная стоимость нагрузки, а также снижается ЧД. Можно сказать, что тренированность проявляется в экономизации функций кровообращения и снижении частотной характеристики дыхания (ЧД). По нашим расчетам, при нагрузке 200 Вт доля ПК от уровня МПК составляет у ПР 65,3 %, у КМС 63,4 % и у МС 57,4 %, т.е. с ростом степени мастерства снижается мобилизация резервов кислородтранспортных систем.

Таблица 2

**Физиологические показатели у лыжников
на последней минуте нагрузки 200 Вт (M±m)**

Показатели	ПР, n=22	КМС, n=22	МС, n=22
ЧСС, уд./мин	153,0±2,1	143,0±1,8*	134,0±2,2*^
АДС, мм рт. ст.	171,0±2,2	169,0±2,4	164,0±3,0
АДД, мм рт. ст.	68,0±1,5	72,0±1,8	80,0±2,4*^
ДП, усл. ед.	262,0±5,4	242,0±4,5*	219,0±5,6*^
ЧД, цикл/мин	31,2±1,0	27,5±0,9*	27,8±0,8^
ДО, мл	2281±45	2422±78	2444±86
МОД, л	70,3±1,7	62,6±1,9*	67,0±1,8
ДК, усл. ед.	0,890±0,011	0,880±0,012	0,900±0,013
ПК, мл/мин	2875±33	2806±41	2786±30
ЭТ, кал/мин	14122±140	13750±130	13718±150
КП, мл/уд	19,10±0,45	19,80±0,39	20,90±0,42*^
ДЭ, усл. ед.	24,50±0,46	23,4±0,4	24,00±0,59
КИО ₂ , мл/л	41,30±0,76	43,40±0,64*	42,00±0,95
КПД, %	20,30±0,34	20,90±0,29	20,90±0,31

Наряду с абсолютными значениями параметров у спортсменов интересно сравнить и рабочие приросты физиологических показателей при нагрузке 200 Вт, поскольку на них может оказывать влияние исходное состояние физиологических функций [13]. Значения данных показателей составляют в среднем соответственно у ПР, КМС и МС: по ЧСС – 165, 155 и 157 %, по АДС – 44,42 и 39 %, по ДП – 280, 261 и 259 %, по ЧД – 102, 90 и 86 %, по ДО – 288, 252 и 238 %, по МОД – 576, 545 и 544 %, по ПК – 707, 730 и 682 %, по ЭТ – 740, 759 и 711 %, по КП – 208, 235 и 129 %, по КИО₂ – 20, 24 и 22 %. По большинству показателей обнаруживается уменьшение их рабочего прироста с повышением степени тренированности.

Обращает на себя внимание тот факт, что у обследованных лыжников с повышением степени тренированности снижаются значения ЧСС и ДП в покое и при стандартной на-

грузке. Это согласуется и с данными литературы. В видах спорта, где тренируется выносливость, с повышением квалификации у спортсменов усиливается брадикардия. Ее рассматривают как проявление экономичности в деятельности аппарата кровообращения. Авторы также подчеркивают, что снижение ДП у спортсменов говорит о более экономном режиме работы сердца и уменьшении потребления кислорода миокардом [14].

При нагрузке «до отказа» (табл. 3) у МС по сравнению с ПР и КМС значительно больше длительность нагрузки и достигнутая мощность работы. Тем не менее между группами нет заметных различий в значениях таких показателей, как АДС, ДП, ДЭ, КИО₂, КПД, ЧД/Вт, ПК/Вт и ЭТ/Вт. В то же время у КМС по сравнению с ПР статистически значимо выше АДД и ДО и ниже ЧСС, ЧСС/Вт и МОД/Вт. У МС по сравнению с ПР статисти-

чески значимо выше АДД, ДО, МОД, ДК, ПК, МПК и МПК/кг, ЭТ, КП и ниже ЧСС, ЧСС/Вт, АДС/Вт и ДП/Вт. У МС по сравнению с КМС значимо выше АДД, ЧД, МОД, ПК, МПК и МПК/кг, ЭТ, КП и ниже ЧСС/Вт,

АДС/Вт и ДП/Вт. И при максимальной нагрузке с повышением степени тренированности выявляется экономизация функций сердечно-сосудистой системы (по ЧСС/Вт, АДС/Вт и ДП/Вт).

Таблица 3

Физиологические показатели у лыжников на последней минуте нагрузки «до отказа» (M±m)

Показатели	ПР, n=22	КМС, n=22	МС, n=22
Длительность нагрузки, мин	11,40±0,32	12,00±0,28	13,40±0,34*^
Нагрузка, Вт	334,0±8,8	340,0±6,4	376,0±7,0*^
ЧСС, уд./мин	188,0±1,6	182,0±1,7*	183,0±1,4^
АДС, мм рт. ст.	183±3	190,0±2,6	192±4
АДД, мм рт. ст.	65±3	73,0±1,9*	84,0±2,6*^
ДП, усл. ед.	344,0±7,1	346,0±6,9	351,0±7,6
ЧД, цикл/мин	51,0±1,5	48,9±1,8	54,9±1,9*
ДО, мл	2708±56	3004±64*	3030±75^
МОД, л	143,5±3,9	148,6±3,6	164,0±4,9*^
ДК, усл. ед.	1,040±0,011	1,060±0,010	1,080±0,012^
ПК, мл/мин	4336±83	4375±69	4799±92*^
МПК, мл/мин	4405±83	4424±76	4849±89*^
МПК/кг, мл/(мин·кг)	64,60±0,89	64,30±0,93	67,80±1,12*^
ЭТ, кал/мин	22095±444	22411±398	24693±476*^
КП, мл/уд.	23,1±0,6	23,70±0,55	26,2±0,5*^
ДЭ, усл. ед.	31,90±0,65	29,00±0,78	32,90±0,83
КИО ₂ , мл/л	30,80±0,76	30,90±0,64	29,6±0,7
КПД, %	21,80±0,24	21,90±0,26	21,90±0,33
ЧСС/Вт, уд./Вт	0,570±0,011	0,54±0,01*	0,49±0,01*^
АДС/Вт, мм/Вт	0,550±0,012	0,570±0,011	0,510±0,013*^
ДП/Вт, усл. ед./Вт	1,030±0,021	1,01±0,02	0,930±0,018*^
ЧД/Вт, цикл/Вт	0,150±0,005	0,140±0,004	0,140±0,005
МОД/Вт, л/Вт	0,460±0,009	0,430±0,011*	0,430±0,013
ПК/Вт, мл/Вт	12,90±0,14	12,90±0,13	12,80±0,19
ЭТ/Вт, кал/Вт	66,10±0,66	66,20±0,75	65,90±1,01

В подавляющем большинстве случаев значения ДК у лыжников в тесте «до отказа» превышают единицу, что свидетельствует о преодолении большинством спортсменов респираторного порога анаэробного обмена (ПАНО). По нашим расчетам уровень ПАНО достигается у ПР при ПК 88,9 % от МПК, у КМС – 91,8 % и у МС – 85,8 %. По этому критерию нет заметных различий между спортсменами с разной степенью подготовленности.

Физиологические механизмы приспособления к тренировке выносливости у лыжников направлены на повышение способности переноса и потребления кислорода во время интенсивной физической нагрузки глобального характера и затрагивают легкие, кровь, сердце, сосуды и мышцы. Наиболее адекватным и интегральным показателем адаптации дыхательной и сердечно-сосудистой систем, а также степени тренированности на выносливость служит МПК [15]. Значения МПК (абсолютные и удельные на единицу массы тела), характеризующие аэробную производительность или кислородный потолок, у МС гораздо выше, чем у ПР и КМС, что еще раз подтверждает несравненно более высокую тренированность их кардиореспираторной системы и стайерскую выносливость организма.

Целесообразно было сравнить аэробную работоспособность (по МПК) у спортсменов Республики Коми и других регионов по данным литературы.

Оказалось, что значение МПК на единицу массы тела у лыжников-гонщиков Севера Тюменской области (КМС, МС и МСМК) в среднем составляет около 61 мл/(мин·кг) [7], что примерно на 5 % ниже, чем у наших лыжников (в среднем 64–68 мл/(мин·кг)). Однако у зарубежных высокотренированных лыжников-гонщиков из Северной Европы эти показатели выше: 73 мл/(мин·кг) [9], 78 мл/(мин·кг) [11], 83 мл/(мин·кг) [10].

Интересно, что организм спортсменов при максимальной нагрузке работает эффективнее, чем при умеренной нагрузке 200 Вт. По таким показателям удельной физиологической стоимости единицы работы, как ЧСС/Вт, АДС/Вт, ДП/Вт, ПК/Вт и ЭТ/Вт, вы-

являются статистически значимые различия ($p < 0,01$). Значения КПД спортсменов при максимальной нагрузке также имеют тенденцию к повышению по сравнению с нагрузкой 200 Вт (у ПР достоверно выше при $p = 0,04$, у КМС – при $p = 0,06$, у МС – при $p = 0,10$). Можно полагать, что организм лыжников-гонщиков на тренировках и соревнованиях настолько адаптируется к нагрузкам большой интенсивности, что они становятся для них более привычными, чем нагрузки умеренной мощности (например, 200 Вт).

Корреляционный анализ показал, что в покое по мере увеличения степени тренированности проявляется тенденция к увеличению связей между ЧСС и МОД: у ПР $r = 0,053$ ($p > 0,10$), у КМС $r = 0,326$ ($p > 0,05$), у МС $r = 0,500$ ($p < 0,05$), а также связей между ЧСС и ПК: у ПР $r = 0,009$ ($p > 0,10$), у КМС $r = 0,255$ ($p > 0,05$), у МС $r = 0,332$ ($p > 0,05$). При максимальной нагрузке сохраняется такая же тенденция. С ростом мастерства спортсменов значения парциальных коэффициентов корреляции (при элиминации влияния мощности нагрузки) между ЧСС и МОД переходят от отрицательных к положительным: у ПР $r = -0,390$ ($p > 0,05$), у КМС $r = 0,190$ ($p > 0,10$), у МС $r = 0,339$ ($p > 0,05$). Соответствующие коэффициенты между ЧСС и ПК: у ПР $r = -0,613$ ($p < 0,01$), у КМС $r = -0,266$ ($p > 0,05$), у МС $r = 0,310$ ($p > 0,05$).

Для сопоставления спортивной успешности лыжников проанализированы результаты обследованных спортсменов по статистике выступлений по РУС/ФИС в последующем тренировочно-соревновательном периоде. Сравнение показало, что число штрафных баллов составило в среднем 428 у ПР, 287 у КМС и 177 у МС. Таким образом, результаты велоэргометрического тестирования степени тренированности лыжников подтверждаются натурными испытаниями на лыжне.

Заключение. В состоянии покоя и при стандартной физической нагрузке 200 Вт статистически значимо повышенную степень тренированности среди лыжников-гонщиков Республики Коми демонстрируют МС по таким показателям кардиореспираторной системы, как ЧСС, ДП и КП. При нагрузке в

200 Вт значимые различия между ПР и КМС, свидетельствующие об их разной степени тренированности, выявляются по значениям ЧСС, ДП, ЧД, МОД и КИО₂. При максимальной нагрузке повышенная степень тренированности обнаруживается у МС по мощности и длительности нагрузки на велоэргометре, по удельной пульсовой, прессорной и сердечной стоимости единицы работы, по валовому и удельному значению МПК. У КМС по сравнению с ПР при нагрузке «до отказа» о повышенной степени тренированности мож-

но судить по значениям ЧСС, удельной пульсовой и вентиляционной стоимости единицы работы. В целом степень тренированности у лыжников-гонщиков Республики Коми проявляется в экономизации функций кардиореспираторной системы как в покое, так и при стандартных и максимальных велоэргометрических нагрузках. С повышением степени мастерства спортсменов возрастает корреляция между показателями кровообращения (ЧСС), дыхания (МОД) и газообмена (ПК) как в покое, так и при нагрузке до отказа.

Литература

1. Русанов В.Б. Системные изменения центральной гемодинамики в условиях адаптации к физическим нагрузкам на выносливость. Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2009; 8: 267–275.
2. Бутков А.Д., Лысенко Е.А., Лемешева Ю.С., Устюжанин Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л., Попов Д.В. Аэробные и скоростно-силовые возможности лыжников в конце подготовительного и начале соревновательного периодов подготовки. Физиология человека. 2017; 43 (3): 57–63.
3. Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р. Физическая работоспособность спортсменов с различными типами адаптации кардиореспираторной системы. Физиология человека. 2008; 34 (6): 131–133.
4. Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Гарнов И.О., Тимофеев Н.Н., Бойко Е.Р. Динамика порога анаэробного обмена у лыжников-гонщиков в годовом тренировочном цикле. Спортивная медицина: наука и практика. 2017; 7 (4): 19–24.
5. Кривошеиков С.Г., Водяницкий С.Н., Диверт В.Э., Гиренко Л.А. Реактивность и экономичность кардиореспираторной системы на гипоксию и физическую нагрузку у пловцов и лыжников. Ульяновский медико-биологический журнал. 2012; 4: 102–113.
6. Курашвили В.А. Кардиореспираторные детерминанты функционального состояния у лыжников-гонщиков. Спортивная медицина: наука и практика. 2016; 6 (3): 44–47.
7. Матвеева А.М., Попова М.А., Акушев Г.М. Функциональные изменения кардиореспираторной системы при развитии спортивного перенапряжения у лыжников, тренирующихся в условиях Севера. Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2009; 4 (1): 47–53.
8. Andersson E., Bjorklund G., Holmberg H.C., Ortenblad N. Energy system contributions and determinants of performance in sprint cross-country skiing. Scand. J. Med. Sci. Sports. 2017; 27 (4): 385–398.
9. Hegge A.M., Bucher E., Ettema G., Faude O., Holmberg H.C., Sandbakk O. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. Eur. J. Appl. Physiol. 2016; 116 (2): 291–300.
10. Losnegard T., Hallen J. Physiological differences between sprint- and distance-specialized cross-country skiers. Int. J. Sports. Physiol. Perform. 2014; 9 (1): 25–31.
11. Lundrøgen K.M., Karlsen T., Sandbakk O., James P.E., Tjonna A.E. Sport-specific physiological adaptations in highly trained endurance athletes. Med. Sci. Sports. Exerc. 2015; 47 (10): 2150–2157.
12. Polat M., Korkmaz E.S., Aydogan S. Seasonal variations in body compositions, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in cross-country skiers. Open Access J. Sports. Med. 2018; 9 (3): 91–97.
13. Солонин Ю.Г. Роль исходного состояния физиологических функций в реакциях на физическую нагрузку. Физиология человека. 1987; 13 (1): 96–102.
14. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г. Сердечная деятельность и функциональная подготовленность у спортсменов. М.: Советский спорт; 2012. 548.
15. Bassett D.R., Havley E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med. Sci. Sports. Exerc. 2000; 32 (1): 70–84.

CARDIORESPIRATORY SYSTEM UNDER BICYCLE ERGOMETER TEST IN SKIERS WITH DIFFERENT TRAINING STATUS (KOMI REPUBLIC)

Yu.G. Solonin^{1,2}, T.P. Loginova¹, I.O. Garnov¹, A.L. Markov^{1,2},
A.A. Chernykh^{1,2}, E.R. Boyko^{1,2}

¹Institute of Physiology, Komi Scientific Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia;
²Piritim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

The aim of the study is to examine the impact of training status on ski racers (Komi Republic) at rest and under bicycle ergometry evaluating their cardiorespiratory system parameters.

Materials and Methods. The authors examined male ski racers with different training status: 22 first-rank sportsmen, 22 candidates for Master of Sports and 22 Masters of Sports. Athletes underwent bicycle ergometry loads up to refusal. Oxycon Pro system (Germany) was used. Then authors studied the complex of cardiorespiratory parameters, calculating maximum oxygen consumption and unit physiological cost.

Results. At rest and under standard physical load (200 W) Masters of Sports demonstrate significantly increased training status among ski racers in such cardiorespiratory system parameters as heart rate, rate pressure product and oxygen pulse. Under standard physical load (200 W) statistically significant differences between first-rank sportsmen and candidates for Master of Sports are detected by heart rate, rate pressure product, respiration rate, respiratory minute volume and oxygen utilization coefficient. Such deviations indicate differences in training status. Under maximum load, the highest training status is found in Masters of Sports: bicycle ergometry load power and duration; unit pulse, pressor and cardiac cost, bulk and unit values of maximum oxygen consumption. Heart rate values, unit pulse and heart-vent cost indicate a high training status in candidates for Master of Sports under load up to refusal, if compared with first-rank sportsmen. Athletes' organism under load up to refusal works more efficiently than under moderate load (200 W). The training status in ski racers (Komi Republic) is manifested in the saving cardiorespiratory system functions, both at rest and under standard bicycle ergometry, as well as in parameters of unit physiological cost under loads up to refusal and increased values of maximum oxygen consumption.

Keywords: ski racers, Komi Republic, training status, bicycle ergometry loads, cardiorespiratory system, maximum oxygen consumption.

References

1. Rusanov V.B. Sistemnye izmeneniya tsentral'noy gemodinamiki v usloviyakh adaptatsii k fizicheskim nagruzkam na vyнослиvost' [System changes of central hemodynamics during adaptation to physical endurance exercises]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*. 2009; 8: 267–275 (in Russian).
2. Butkov A.D., Lysenko E.A., Lemesheva Yu.S., Ustyuzhanin D.V., Grushin A.A., Vinogradova O.L., Popov D.V. Aerobnye i skorostno-silovye vozmozhnosti lyzhnikov v kontse podgotovitel'nogo i nachale sorevnovatel'nogo periodov podgotovki [Aerobic capacity and force-velocity characteristics in cross-country skiers at the end of preparatory period and at the beginning of competitions]. *Fiziologiya cheloveka*. 2017; 43 (3): 57–63 (in Russian).
3. Vanyushin Yu.S., Khayrullin R.R. Fizicheskaya rabotosposobnost' sportsmenov s razlichnymi tipami adaptatsii kardiorespiratornoy sistemy [Physical performance of athletes with various types of cardiorespiratory adaptation]. *Fiziologiya cheloveka*. 2008; 34 (6): 131–133 (in Russian).
4. Varlamova N.G., Loginova T.P., Garnov I.O., Timofeev N.N., Boyko E.R. The dynamics of the anaerobic metabolism threshold of skiers-racers in the annual training cycle [Dynamics of the anaerobic threshold of ski racers throughout the annual training cycle]. *Sports medicine: science and practice*. 2017; 7 (4): 19–24 (in Russian).

5. Krivoshchekov S.G., Vodyanitskiy S.N., Divert V.E., Girenko L.A. Reaktivnost' i ekonomichnost' kardiorespiratornoy sistemy na gipoksiyu i fizicheskuyu nagruzku u plovtsov i lyzhnikov [Reactivity and cost-effectiveness of cardiorespiratory system for hypoxia and physical stress in swimmers and skiers]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2012; 4: 102–113 (in Russian).
6. Kurashvili V.A. Kardiorespiratornye determinanty funktsional'nogo sostoyaniya u lyzhnikov-gonshchikov [Cardiorespiratory determinants of functional capacity of cross country skiers]. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika*. 2016; 6 (3): 44–47 (in Russian).
7. Matveeva A.M., Popova M.A., Akushev G.M. Funktsional'nye izmeneniya kardiorespiratornoy sistemy pri razvitii sportivnogo perenapryazheniya u lyzhnikov, treniruyushchikhsya v usloviyakh Severa [Functional changes in the cardiorespiratory system under sports overload in skiers who train in the North]. *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*. 2009; 4 (1): 47–53 (in Russian).
8. Andersson E., Bjorklund G., Holmberg H.C., Ortenblad N. Energy system contributions and determinants of performance in sprint cross-country skiing. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2017; 27 (4): 385–398.
9. Hegge A.M., Bucher E., Ettema G., Faude O., Holmberg H.C., Sandbakk O. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2016; 116 (2): 291–300.
10. Losnegard T., Hallen J. Physiological differences between sprint- and distance-specialized cross-country skiers. *Int. J. Sports. Physiol. Perform*. 2014; 9 (1): 25–31.
11. Lundrøgen K.M., Karlsen T., Sandbakk O., James P.E., Tjønnå A.E. Sport-specific physiological adaptations in highly trained endurance athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc*. 2015; 47 (10): 2150–2157.
12. Polat M., Korkmaz E.S., Aydoğan S. Seasonal variations in body compositions, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in cross-country skiers. *Open Access J. Sports. Med*. 2018; 9 (3): 91–97.
13. Solonin Yu.G. Rol' iskhodnogo sostoyaniya fiziologicheskikh funktsiy v reaktsiyakh na fizicheskuyu nagruzku [The role of basic physiological functions in reactions to physical activity]. *Fiziologiya cheloveka*. 1987; 13 (1): 96–102 (in Russian).
14. Belotserkovskiy Z.B., Lyubina B.G. *Serdechnaya deyatel'nost' i funktsional'naya podgotovlennost' u sportsmenov* [Heart activity and functional status in athletes]. Moscow: Sovetskiy sport; 2012. 548 (in Russian).
15. Bassett D.R., Havley E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports. Exerc*. 2000; 32 (1): 70–84.