

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 613.72; 616.1

РЕЗУЛЬТАТЫ 5-ЛЕТНЕГО ЛОНГИТУДИНАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ ВЫСОКОТРЕНИРОВАННЫХ ЛЫЖНИКОВ

**Ю.Г. Солонин¹, И.О. Гарнов¹, Т.П. Логинова¹, А.Л. Марков¹,
А.А. Черных¹, А.В. Ватлин², Т.М. Командресова³, Е.Р. Бойко¹**

¹Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Сыктывкар

³Псковский государственный университет, Псков

Проведено изучение антропометрических данных и показателей кровообращения, дыхания и энергетики у 14 мастеров спорта по лыжным гонкам. Спортсмены протестированы повышающимися нагрузками до отказа на велоэргометре с использованием системы "Oxcon Pro" (Германия). Повторные исследования проведены через 5 лет. За 5 лет наблюдения антропометрические и физиологические показатели практически не изменились, но при нагрузке 200 Вт произошло статистически значимое снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и двойного произведения (ДП), что говорит об экономизации реакций кровообращения при стандартной работе и подтверждает повышение тренированности. Однако при максимальной нагрузке через 5 лет выявилось уменьшение потребления кислорода (ПК), максимального потребления кислорода (валового и на единицу массы тела), ПК на пороге анаэробного обмена (ПАНО) и ЧСС на ПАНО, что указывает на снижение предельных функциональных возможностей организма лыжников-северян/ Ускоренное 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, лонгитудинальное исследование.

DOI: 10.26456/vtbio145

Введение. Лонгитудинальные физиологические исследования различных групп спортсменов и населения в прошлом веке всегда приносили ценные результаты при оценке возрастных изменений и сдвигов в физической тренированности человека (Astrand et al., 1973; Kanstrup et al., 1978) и не потеряли своей актуальности в XXI веке (Grimsmo et al., 2010; Eriksen et al., 2016). В литературе чаще

встречаются сведения об изменениях в организме людей в широком возрастном диапазоне – от подросткового до зрелого и пожилого возраста (Edvardsen et al., 2013; Van Oort et al., 2013). Лишь единичные работы посвящены лонгитудинальному изучению функционального состояния растущего организма обычных подростков (Pate et al., 2006) и молодых хоккеистов (Шайхелисламова и др., 2015). 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 высокотренированных лыжников-северян, принимающих ежегодное активное участие в тренировках и соревнованиях.

Целью работы является оценка влияния 5-летних занятий лыжными гонками на физическую работоспособность мастеров спорта - 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.

Методика. В базе данных Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, содержащих 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 (20-29 лет), спортивная квалификация (мастера спорта), интервал исследования (5 лет). Таких спортсменов в базе оказалось 14 человек. Все они взяты в разработку. 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.

Обследование тех же 14 спортсменов было повторено через 5 лет с привлечением той же бригады исследователей-физиологов. Таким образом, исследование носит экспериментальный характер и является продольным (лонгитудинальным) 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), среднединамическое 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 “Oxuson Pro” (CareFusion, Erich Jaeger, Германия) с регистрацией и расчетом кардиореспираторных показателей: ЧСС, АДс, АДд, СДД, ДП, частота дыхания – ЧД, дыхательный объем – ДО, минутный объем дыхания – МОД, потребление кислорода – ПК, дыхательный коэффициент – ДК, энерготраты – ЭТ, кислородный пульс – КП, дыхательный эквивалент – ДЭ, коэффициент использования кислорода – КИО₂, максимальное потребление кислорода - МПК, коэффициент полезного действия – КПД, порог 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 педалирования 60 об/мин. Тест продолжался до отказа.

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 (Гланц, 1999). Различия принимали значимыми при $P < 0,05$ (Унгурияну, Грижбовский, 2011). Результаты исследования в таблицах 1-3 представлены в виде среднего арифметического значения показателя и стандартного отклонения ($M \pm SD$).

Результаты. За 5 лет наблюдения по всем измеренным антропометрическим и физиологическим показателям в покое не установлено статистически значимых сдвигов (табл. 1). При нагрузке 200 Вт (табл. 2) через 5 лет статистически значимо снизились ЧСС (в среднем на 12 уд/мин) и ее прирост (в среднем на 8 уд/мин), а также ДП (в среднем на 25 усл.ед.). Остальные показатели изменились незначительно.

При максимальной нагрузке (табл. 3) через 5 лет статистически значимо уменьшились ПК (в среднем на 404 мл/мин), МПК (в среднем на 453 мл/мин), МПК/кг (в среднем на 7,5 мл/мин*кг), ПК на ПАНО (в среднем на 443 мл/мин) и ЧСС на ПАНО (в среднем на 15 уд/мин). Отмечается явная тенденция к уменьшению абсолютных значений ЧСС (в среднем на 12 уд/мин) и ее прироста (в среднем на 8 уд/мин). Такие изменения ЧСС как при стандартной, так и при максимальной нагрузках обычно наблюдаются как при повышении физической тренированности и тепловой устойчивости, так и при увеличении возраста людей (Солонин, Кацюба, 2003; Solonin, 2019). Большинство же показателей не имели значимых изменений.

Таблица 1

Антропометрические и физиологические показатели в покое у 14 лыжников в разные годы (M±SD)

Параметры	I обследование	II обследование через 5 лет	Уровень различий, P
Возраст, лет	23,4±3,48	28,4±3,68	0,011
Рост, см	178,4±3,61	178,8±3,83	0,782
Масса тела, кг	70,2±2,65	71,6±3,27	0,223
ИМТ, кг/м ²	22,0±0,98	22,4±1,08	0,323
ЧСС, уд/мин	52±8,6	48±6,3	0,355
АДс, мм рт. ст.	115±8,0	115±14,2	0,489
АДд, мм рт. ст.	73±8,8	78±8,3	0,320
ПД, мм рт. ст.	42±6,5	37±9,4	0,127
ДП, усл. ед.	60±9,9	55±10,6	0,223
СДД, мм рт. ст.	87±8,0	98±9,7	0,581
ВИК, %	-43±30,9	-65±26,8	0,081
ЧД, цикл/мин	14,6±3,11	14,0±3,98	0,945
ДО, мл	664±117	701±144	0,613
МОД, л	9,6±1,83	9,4±1,70	0,761
ДК, усл. ед.	0,75±0,05	0,81±0,05	0,007
ПК, мл/мин	342±48,3	335±51,0	0,945
ЭТ, кал/мин	1622±230	1614±248	0,818
КП, мл/уд	7,9±2,08	7,6±1,58	0,963
ДЭ, усл. ед.	28,0±4,42	28,2±3,46	0,629
КИО ₂ , мл/л	36,4±5,32	35,9±4,34	0,646

Таблица 2

Показатели кровообращения, дыхания и энергетики
у 14 лыжников на последней минуте нагрузки 200 Вт ($M \pm SD$)

Показатели	I наблюдение	II наблюдение	Уровень различий, P
ЧСС, уд/мин	138±11,9	126±12,9	0,033
АДс, мм рт.ст.	163±13,9	160±9,6	0,516
АДд, мм рт.ст.	74 ±11,7	74± 9,1	0,815
ПД, мм рт.ст.	89 ± 19,3	85 ± 11,3	0,612
ДП, усл. ед.	226 ±30,9	201± 22,2	0,039
СДД, мм рт.ст.	104± 8,5	103 ±7,1	0,945
ЧД, цикл/мин	28,1± 3,76	26,5 ±3,08	0,188
ДО, мл	2403± 312	2429 ±230	0,696
МОД, л	66,6± 5,87	63,9± 5,40	0,322
ДК, усл.ед.	0,89± 0,04	0,91 ±0,05	0,213
ПК, мл/мин	2820± 135	2729 ±101	0,073
ЭТ, кал/мин	13866 ±691	13480± 588	0,183
КП, мл/уд	20,2 ±1,94	21,7± 2,11	0,081
ДЭ, усл. ед.	23,4± 1,62	23,4±1,86	0,982
КИО ₂ , мл/л	42,5± 3,14	42,9± 3,43	0,748
КПД, %	20,7± 0,97	21,3±0,95	0,167

Индивидуальный анализ данных показал, что через 5 лет после первого обследования мощность работы на ПАНО, уровень ПК на ПАНО и уровень ЧСС на ПАНО у всех спортсменов имели однонаправленные сдвиги параметров в сторону снижения. Лишь у двух лыжников наблюдалось незначительное повышение уровней МПК и МПК/кг. Следует отметить, что направленность и величина изменений аэробного порога не зависела от возраста лыжников. У лыжников юношеского возраста (до 21 года) он снизился в среднем на 10,5%, а у лыжников зрелого возраста (23-29 лет) – на 11,4%. В связи с этим и была сформирована единая выборка из людей в возрасте 20-29 лет.

Таблица 3

Показатели кровообращения, дыхания и энергетики
у 14 лыжников на последней минуте нагрузки до отказа (M± SD)

Показатели	I наблюдение	II наблюдение	Уровень различий, P
Длительность нагрузки, мин	12,9 ±1,44	12,6 ±1,84	0,765
Нагрузка, Вт	360± 38,4	354± 37,9	0,828
ЧСС, уд/мин	182± 7,4	170 ±18,8	0,091
АДс, мм рт.ст.	186± 18,3	191 ±13,7	0,392
АДд, мм рт.ст.	83 ±12,6	81 ±14,4	0,745
ПД, мм рт.ст.	103 ± 23,8	110 ± 19,3	0,433
СДД, мм рт.ст.	117 ±10,1	117 ± 10,3	0,512
ДП, усл. ед.	339± 31,8	323 ±38,4	0,301
ЧД, цикл/мин	54,0 ±11,4	48,8 ±13,4	0,369
ДО, мл	2984 ±297	2959± 397	0,945
МОД, л	158,8 ±26,6	143,6± 41,9	0,383
ДК, усл.ед.	1,07 ±0,08	1,10± 0,10	0,534
ПК, мл/мин	4662± 425	4258± 514	0,048
МПК, мл/мин	4805± 349	4352± 462	0,017
МПК, мл/мин*кг	68,4± 5,90	60,9 ±7,51	0,027
ЭТ, кал/мин	23961± 2341	22069 ±3082	0,129
КП, мл/уд	25,6± 1,91	25,2± 2,44	0,783
ДЭ, усл.ед.	32,8± 3,65	33,2 ±6,95	0,730
КИО ₂ , мл/л	29,8 ±3,80	31,3± 6,32	0,435
КПД, %	21,7± 2,89	23,2 ±2,18	0,059
ПАНО:			
Нагрузка, Вт	314± 41,0	298 ±35,0	0,353
ПК, мл/мин	4190 ±540	3747± 389	0,048
ЧСС, уд/мин	169± 12,1	154 ±16,0	0,014

Обсуждение результатов. В результате 5-летних занятий лыжными гонками у высокотренированных мужчин-северян при стандартной нагрузке 200 Вт статистически значимо снизились параметры центральной гемодинамики (ЧСС, ДП), что свидетельствует об экономизации реакций гемодинамики при стандартной нагрузке и подтверждает рост физической тренированности. При

велозргометрической нагрузке до отказа выявляется значимое уменьшение ПК, аэробного (по МПК и МПК/кг) и анаэробного порогов (по ЧСС и ПК на ПАНО), что указывает на снижение предельных функциональных возможностей организма лыжников-северян за пять лет интенсивных тренировок. Таким образом, физиологические исследования при умеренных стандартных нагрузках выявляют рост тренированности у лыжников, а максимальная велозргометрическая нагрузка выявляет начинающееся снижение физической работоспособности.

Полученные результаты во многом согласуются с данными других лонгитудинальных исследований как спортсменов, так и обычных жителей разного возраста. В ряде работ (Edwardsen, 2013; Erber Oakkar et al., 2015) также было показано, что с возрастом уменьшаются МПК.

Классические лонгитудинальные исследования шведских физиологов показали, что функции кровообращения и дыхания неуклонно ухудшаются за 13 лет (Kanstrup, Ekblom, 1978) и уменьшается МПК за 20 лет в среднем на 20% (Astrand et al., 1973) 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 (Marcus et al., 2015).

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 (Kanstrup, Ekblom, 1978). Не обнаружено значимых сдвигов МПК у обычных жителей Голландии в диапазоне от 7-17 лет до 40-50 лет (Van Oort, 2013). Выявлена стабилизация физической работоспособности в Швеции в возрасте от 16 до 34 лет и снижение ее на 24% к 52 годам (Westerstahl et al., 2018). По данным Eriksen L. et al (2016) в Дании у жителей в диапазоне от 20 до 80 лет МПК заметно уменьшается. Лонгитудинальные исследования лыжников в Норвегии (Grimsmo et al., 2010) 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 (2015) изучила состояние гемодинамики у юных хоккеистов и в контроле в возрасте 11-15 лет и нашла 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 (2006) в США у молодых людей от 12 к 19 годам нашли увеличение МПК/кг на 0,55 мл/мин*кг в год. Лонгитудинальное исследование населения Швеции (Westerstahl et al., 2018) выявило рост МПК/кг от 16 к 34 годам (с 40 до 41 мл/мин*кг) и его снижение к 52 годам. В Дании (Eriksen et al., 2016) 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 на каждый год жизни. Лонгитудинальное исследование за 30 лет у лыжников Норвегии (Grimsmo et al., 2010) показало, что с возрастом МПК/кг падает в среднем на 0,58 мл/мин*кг в год.

Интересно, что у наших высокотренированных лыжников-северян (Республика Коми) выявлен наиболее высокий по сравнению с данными литературы темп снижения физической работоспособности по МПК/кг – 1,5 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 (Соловьева и др., 2010). С другой стороны, у молодых мужчин, длительно находящихся на открытом воздухе, выявлено напряжение системы гипофиз-щитовидная железа и кислородного обмена (Бойко и др., 2008), увеличение скорости старения пришлого населения Севера по сравнению с жителями средних широт по данным смертности и заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями (Чечеткина, 2010; Никитин и др., 2014) и ускорение процессов старения функций внешнего дыхания как по возрастам, так и по северному стажу в диапазоне 5-10 лет (Ким, 2015). 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 20 до 29 лет). В перспективе при продолжении работы и увеличении банка данных появится возможность получить репрезентативные выборки из спортсменов одного возраста 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 ввиду так называемый конфаундинг-эффект. За 5 лет лонгитудинального 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, а также начавшееся старение, ослабляющее организм человека. Практически невозможно вычлнить 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 (Шайхелисламова и др., 2015).

Заключение. Ускоренное снижение уровня физической работоспособности у высокотренированных 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.

Список литературы

- Бойко Е.Р., Евдокимов В.Г., Потолицына Н.Н., Канева А.М., Варламова Н.Г., Кочан Т.И., Вахнина Н.А., Шадрин В.Д., Солонин Ю.Г., Логинова Т.П., Есева Т.В., Кеткина О.А., Рогачевская О.В., Людина А.Ю., Логинов А.Ю.* 2008. Система гипофиз-щитовидная железа и показатели потребления кислорода в условиях хронического охлаждения у человека на Севере // Физиология человека. Т. 34. № 2. С. 93-98.
- Гланц С.* 1999. Медико-биологическая статистика. М.: Практика. 459 с.
- Ким Л.Б.* 2015. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука. 216 с.
- Никитин Ю.П., Хаснулин В.И., Гудков А.Б.* 2014. Современные проблемы северной медицины и усилия ученых по их решению // Вестник САФУ. Серия: Медико-биологические науки. № 3. С. 63-72.
- Соловьева С.В., Панин С.В., Наймушина А.Г.* 2010. Физиологические механизмы компенсаторно-приспособительных реакций системы кровообращения у жителей Севера Тюменской области и г. Тюмени // Фундаментальные исследования. № 7. С. 76-80.

- Солонин Ю.Г., Кацюба Е.А.* 2003. Терморегуляция и кровообращение у лиц зрелого возраста при кратковременных экстремальных температурных воздействиях // Физиология человека. Т. 29. № 2. С.67-74.
- Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М.* 2011. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // Экология человека. № 5. С. 55-60.
- Четкина И.И.* 2010. Особенности процессов старения трудоспособного населения на Севере: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск. 26 с.
- Шайхелисламова М.В., Ситдииков Ф.Г., Зефиоров Т.Л., Дикопольская Н.Б.* 2015. Состояние гемодинамики у юных хоккеистов в пре- и пубертатный периоды развития // Физиология человека. Т. 41. № 4. С.91-99.
- Astrand I., Astrand P.-O., Hallback I., Kilbom A.* 1973. Reduction in maximal oxygen uptake with age // J. Appl. Physiol. V. 35. № 5. P. 649-654.
- Edvardsen E., Hansen B.H., Holme I.M., Dyrstad S.M., Anderssen S.A.* 2013. Reference values for cardiorespiratory response and fitness on the treadmill in a 20-to 85-year-old population // Chest. V. 144. № 1. P. 241-248.
- 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.* 2015. Longitudinal study of acculturation and BMI change among Asian American men // Prev. Med. V. 73. P.15-21.
- Eriksen L., Gronbaek M., Helge J.W., Tolstrup J.S.* 2016. Cardiorespiratory fitness in 16025 adults aged 18-91 years and associations with physical activity and sitting time // Scand. J. Med. Sci. Sports. V. 26. № 12. P. 1435-1443.
- Grimsmo J., Arnesen H., Maehlum S.* 2010. 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. V. 20. № 1. P. 151-161.
- Kanstrup I.L., Ekblom B.* 1978. Influence of age and physical activity on central hemodynamics and lung function in active adults // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. V. 45. № 5. P. 709-717.
- Marcus M.R., Itterman T., Baumeister S.E., Troitzsch P., Schipf S., Lorbeer R., Aumann N., Wallaschofski H., Dörr M., Rettig R., Völzke H.* 2015. Long-term changes in body weight are associated with changes in blood pressure levels // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. V. 25. № 3. P. 305-311.
- Pate R.R., Wang C.Y., Dowda M., Farell S.W., O'Neill J.R.* 2006. 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. V. 160. № 10. P. 1005-1012.
- Solonin I.G.* 2019. Heart rate as an indication of the psychophysiological strain // Applied and Systemic-Structural Activity Theory: Advances in Studies of Human Performance / ed. Gregory Z. Bedny, Inna S. Bedny. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group. P.217-235.
- Van Oort C., Jackowski S.A., Eisenmann J.C., Sherar L.B., Bailey D.A., Mirwald R., Baxter-Jones A.D.* 2013. Tracking of aerobic fitness from adolescence to mid-adulthood // Ann. Hum. Biol. V. 40. № 6. P. 547-553.

Westerstahl M., Jansson E., Barnekow-Berqkvist M., Aasa U. 2018. Longitudinal changes in physical capacity from adolescence to middle age in men and women // Sci. Rep. V. 8, № 1. P. 147-167.

RESULTS OF THE 5-YEAR LONGITUDINAL STUDY OF PHYSICAL WORK CAPACITY IN HIGHLY TRAINED MALE SKI RUNNERS

**Iu.G. Solonin¹, I.O. Garnov¹, T.P. Loginova¹, A.L. Markov¹,
A.A. Chernykh¹, A.V. Vatlin², T.M. Komandresova³, E.R.Bojko¹**

¹ Institute of Physiology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar

³Pskov State University, Pskov

We studied anthropometric parameters, cardiovascular, respiratory, and energy metabolism parameters in 14 male Komi Republic ski runners, masters of sports (according to Russian qualification system) in cross-country ski racing. All athletes performed a maximal bicycle ergometer test with the "Oxycon Pro" system (Germany). The tests were repeated after five years of observation. After the mentioned period, we found almost no changes in anthropometric and physiological parameters. Nevertheless, we observed a statistically significant decrease in heart rate (HR) and double product (DP) during the ergometer test at the load of 200 W. This suggests more economical work of circulation system because of training and increase of physical capacity. However, after five years of training and competing, at the maximal load during the test, we observed decreased oxygen consumption, maximal oxygen consumption (MOC, both in absolute and relative values), reduced oxygen consumption and HR at the anaerobic threshold. These findings suggest the decrease of maximal functional capabilities in male Northerners training as ski runners. The observed reduction in physical work capacity suggests not only the beginning of age-related changes in the physiology of northern athletes but also possible adverse effects of prolonged residency in the North.

Keywords: *ski runners, North, bicycle ergometer test, physical work capacity, longitudinal study.*

Об авторах:

СОЛОНИН Юрий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО

РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: solonin@physiol.komisc.ru.

ГРАНОВ Игорь Олегович – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: 566552@inbox.ru.

ЛОГИНОВА Татьяна Петровна – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: loginova@physiol.komisc.ru.

МАРКОВ Александр Леонидович – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: volkarb@mail.ru.

ЧЕРНЫХ Алексей Анатольевич – младший научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: death.elephant@gmail.com.

ВАТЛИН Александр Витальевич – кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой хирургии медицинского института, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, 167001, Сыктывкар, Октябрьский проспект, 55, e-mail: alexandervitv@mail.ru.

КОМАНДРЕСОВА Татьяна Михайловна – кандидат биологических наук, доцент кафедры фундаментальной медицины, ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», 180000, Псков, пл. Ленина, д. 2, e-mail: fundmed15@pskgu.ru.

БОЙКО Евгений Рафаилович – доктор медицинских наук, профессор, директор Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50, e-mail: erbojko@physiol.komisc.ru

Солонин Ю.Г. Результаты 5-летнего лонгитудинального наблюдения за физической работоспособностью высокотренированных лыжников / Ю.Г. Солонин, И.О. Гарнов, Т.П. Логинова, А.Л. Марков, А.А. Черных, А.В. Ватлин, Т.М. Командрессова, Е.Р. Бойко // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2020. № 2(58). С. 7-18.