

Исследование индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от физического состояния

Г.Г. Ерофеев

*ФГБУ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна,
Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия*

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определение индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от их физического состояния. **Материалы и методы:** в исследовании приняли участие 20 профессиональных спортсменов (средний возраст $23,2 \pm 0,9$ года) лыжных видов спорта (10 мужчин и 10 женщин), которые выполняли тестирование на длительной физической нагрузке аэробного характера (беговая дорожка и велоэргометр) и на короткой физической нагрузке анаэробного характера (Вингейт-тест на велоэргометре). Обработка и анализ данных проводились общепринятыми статистическими методами с учетом пола и возраста студентов. До и после физической нагрузки у каждого обследуемого определяли индивидуальные частотные характеристики дыхательной системы и параметры жизненной емкости легких и форсированной жизненной емкости легких, по которым оценивали влияние физической нагрузки на объемные и на частотные характеристики дыхательной системы. Рассчитывали средние арифметические значения показателей в референтных группах и их стандартные отклонения. **Результаты:** анализ частотных характеристик дыхательной системы обследуемых после выполнения физической нагрузки выявил наличие достоверного изменения резонанса среди мужчин только на фазе выдоха после велоэргометрического теста «до отказа», а среди женщин – только на фазе вдоха после тестирования на беговой дорожке, при всех остальных измерениях частотных характеристик изменения были незначительными, либо недостоверными. Максимальное изменение жизненной емкости легких и форсированной жизненной емкости легких выявлено среди мужчин после выполнения нагрузочного тестирования на беговой дорожке. Минимальное изменение показателей жизненной емкости легких и форсированной жизненной емкости легких выявлено также в группе спортсменов мужчин после выполнения ими тестирования на велоэргометре (тест «до отказа»). Достоверное изменение резонансных частот зарегистрировано в группе мужчин только на фазе выдоха после нагрузки на велоэргометре (тест «до отказа»), среди женщин – только на фазе вдоха после теста на беговой дорожке. **Выводы:** выполнение как длительной физической нагрузки аэробного характера, так и короткой физической нагрузки анаэробного характера не приводит к достоверным изменениям частотных характеристик дыхательной системы спортсменов, что позволяет сделать вывод о больших потенциальных возможностях биоакустической стимуляции дыхательной системы в задачах спортивной медицины, поскольку она проводится в любой период соревновательно-тренировочного процесса в удобное для спортсмена время.

Ключевые слова: дыхательная система, биоакустическая стимуляция, резервы дыхания, жизненная емкость легких

Для цитирования: Ерофеев Г.Г. Исследование индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от физического состояния // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10, №1. С.30-36. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.30

Skiers individual respiratory system characteristics depending on the physical condition

Gennadiy G. Erofeev

*State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center,
Moscow, Russia*

ABSTRACT

Objective: to identify skiers individual respiratory system characteristics depending on their physical condition. **Materials and methods:** the study involved 20 professional skiers (10 men and 10 women, aged 23.2 ± 0.9) who performed a long-term aerobic test (treadmill and bicycle ergometer) and a short-term anaerobic physical test (Wingate test on a bicycle ergometer). The gender and age specific data was processed and analyzed with generally accepted statistical methods. Before and after exercise, each subject underwent the individual respiratory system frequency characteristics and lung vital and forced vital capacity measurement to evaluate the physical activity effect on the respiratory system volume and frequency characteristics. The mean values in the reference groups and their standard deviations were calculated. **Results:** an analysis of the respiratory system frequency characteristics after physical exercise revealed a significant change in resonance in men only in the exhalation phase after the “to failure” bicycle ergometric test, and in women only in the inhalation phase after treadmill test, all other frequency characteristics changes were insignificant. The maximum change in lung vital and forced vital capacity was found in men after treadmill stress test. The minimum change in lung vital and forced vital capacity was found in

the male athletes after the “to failure” bicycle ergometer test. A significant change in the resonant frequencies was found in the group of men only at the exhalation phase after “to failure” bicycle ergometer test, in women – only at the inhalation phase after the treadmill test. **Conclusions:** thus, the study revealed that both prolonged aerobic exercise and short anaerobic exercise do not result in significant changes in the athletes’ respiratory system frequency characteristics suggesting the great potential of respiratory system bio-acoustic stimulation in sports medicine, since it can be performed at any period of the competitive training process at the time convenient for an athlete.

Key words: respiratory system, bioacoustic stimulation, respiratory reserves, lung capacity

For citation: Erofeev GG. Skiers Individual Respiratory System Characteristics Depending on the Physical Condition. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2020;10(1):30-36 (In Russ.) DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.30

1. Введение

Приоритетным направлением повышения функциональных резервов организма спортсменов в настоящее время является применение нелекарственных технологий [1-3]. К числу таких технологий относятся инновационные технологии, основанные на биоакустической стимуляции дыхательной системы [4].

Способ биоакустической стимуляции дыхательной системы базируется на взаимодействии высокоинтенсивной звуковой волны с респираторным трактом человека на резонансных (индивидуально подобранных) частотах [5, 6]. В результате биоакустической стимуляции дыхательной системы возникает эффект открытия резервных альвеол и увеличения площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, что обуславливает увеличение жизненной емкости легких.

При воздействии высокоинтенсивными звуками низкой частоты на резонансных частотах давление в падающей волне полностью переносится по воздушным каналам на всю глубину воздушной полости и приводит к раскрытию альвеол: этого невозможно достичь за счет подачи воздуха даже под высоким давлением, так как напор воздуха испытывает сопротивление по всем воздушным каналам [4-6]. Чем меньше диаметр каналов – тем больше сопротивление потоку воздуха, поэтому стимулирующий воздушный поток до альвеол не доходит, а звуковая волна такого сопротивления на резонансных частотах не испытывает, поэтому давление звуковой волны проходит до альвеол (и способствует их раскрытию).

Реакции дыхательной системы на акустическое воздействие изменяются в зависимости от его частоты и интенсивности и, кроме того, зависят от индивидуальных физиологических и антропометрических характеристик человека. К респираторным реакциям можно отнести вибрацию грудной клетки и диафрагмы с основной частотой воздействия, изменение глубины и ритма дыхания, прекращение экскурсии грудной клетки без нарушения газообмена в легких [4-7].

Для контроля и персонификации стимулирующего акустического воздействия необходимы измерения акустического импеданса дыхательной системы, теоретической основой которых являются модельные представления о резонансном звукопоглотителе (резонатор Гельмгольца) [5, 6]. Теоретические основы реализации

таких измерений в медико-биологической практике разработаны в последние несколько лет, что открывает новые возможности применения биоакустической стимуляции дыхательной системы в задачах восстановительной и спортивной медицины [2, 5].

Для эффективного проведения биоакустической стимуляции необходима ее персонализация – индивидуальный подбор параметров и характеристик биоакустической стимуляции для каждого человека. Это, в свою очередь, обуславливает актуальность определения индивидуальных объемных и частотных характеристик (резонанса) дыхательной системы спортсменов, представляющих различные виды спорта [7-10].

Цель исследования: определить индивидуальные особенности дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от их физического состояния.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 20 профессиональных спортсменов лыжных видов спорта (10 мужчин и 10 женщин) (средний возраст $23,2 \pm 0,9$ года, стаж занятия спортом от 12 до 17 лет, уровень спортивного мастерства: кандидаты в мастера спорта – 8, мастера спорта – 7, заслуженные мастера спорта – 3, мастера спорта международного класса – 2), которые выполняли тестирование на различных видах нагрузки: тестирование на беговой дорожке «до отказа» прошли 12 человек (7 мужчин, 5 женщин); тест «отказа» на велоэргометре выполнили 15 человек (7 мужчин, 8 женщин); короткий анаэробный 30-секундный Вингейт-тест на велоэргометре выполнили 10 человек (4 мужчины, 6 женщин).

До и после физической нагрузки у каждого обследуемого определяли индивидуальные частотные характеристики дыхательной системы и параметры жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) [11-15]. По этим данным определяли влияние физической нагрузки на параметры ЖЕЛ и ФЖЕЛ, а также на показатели частотных характеристик дыхательной системы [16].

Определение ЖЕЛ и ФЖЕЛ проводили с использованием электронного медицинского спирометра «MicroLoop». Определение насыщения крови кислородом (SpO_2) и частоты сердечных сокращений осуществлялось пульсоксиметром медицинским «Armed YX300». Частотные характеристики дыхательной системы опре-

деляли с помощью аппаратно-программного комплекса биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты, включающего блок акустического интерферометра, систему управления интерферометром, систему регистрации параметров звукового поля и программный комплекс для измерения акустического импеданса дыхательной системы [17-19]. Для исследования физической работо-

способности применяли беговую дорожку «T-Ergo PRO» и велоэргометр «V-Ergo PRO» [20-27].

3. Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены показатели частотных характеристик дыхательной системы спортсменов-лыжников до и после выполнения ими различной физической нагрузки.

Таблица 1

Показатели резонанса дыхательной системы до и после различных физических нагрузок

Table 1

Resonance indicators before and after various physical activities

Вид нагрузки / Strain type		Treadmill	Bruce	Wingate
Мужчины / Men				
Резонанс вдоха, Гц / Inhale resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	15,0±1,83	17,6±3,77	20,0±2,04
	После нагрузки / After Strain	20,8±3,00	21,4±3,89	21,3±5,15
Резонанс выдоха, Гц / Exhalation resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	20,8±2,00	17,1±4,06	22,5±2,50
	После нагрузки / After Strain	21,7±2,47	22,5±3,73*	23,8±4,27
Резонанс свободного дыхания, Гц / Free breathing resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	16,7±1,67	18,6±2,61	18,3±1,54
	После нагрузки / After Strain	15,5±2,29	20,0±2,04	16,3±2,39
Женщины / Woman				
Резонанс вдоха, Гц / Inhale resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	22,0±2,55	21,0±3,40	16,0±1,00
	После нагрузки / After Strain	15,6±2,80*	18,0±2,55	20,0±0,01
Резонанс выдоха, Гц / Exhalation resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	19,0±2,45	21,4±3,40	17,1±1,49
	После нагрузки / After Strain	18,0±2,84	22,6±1,99	17,9±2,40
Резонанс свободного дыхания, Гц / Free breathing resonance, Hz	До нагрузки / Before Strain	21,0±1,87	21,0±1,87	16,0±1,01
	После нагрузки / After Strain	21,0±1,88	18,0±2,55	20,0±0,01

Примечание: «Treadmill» – нагрузочный тест на беговой дорожке «до отказа»; «Bruce» – нагрузочный тест на велоэргометре «до отказа»; «Wingate» – анаэробный 30-секундный тест на велоэргометре; * – достоверность различий средних значений при p<0,05.

Note: «Treadmill» – test on the treadmill «to failure»; «Bruce» – test on cycling ergometer «till failure»; «Wingate» – anaerobic 30-second test on a cycling ergometer; * – reliability of differences of average values at p<0.05.

Анализ частотных характеристик дыхательной системы спортсменов после выполнения физической нагрузки выявил наличие достоверного изменения резонанса среди мужчин только на фазе выдоха после велоэргометрического теста «до отказа», а среди женщин – только на фазе вдоха после тестирования на беговой дорожке. При всех остальных измерениях частотных характеристик изменения были незначитель-

ными, либо недостоверными. Наименьшие изменения резонанса зарегистрированы после выполнения Вингейт-теста как у мужчин, так и у женщин. Наибольшие изменения частотных характеристик, не достигавшие уровня достоверности, регистрировались после длительной физической нагрузки – беговая дорожка и велоэргометр (тест «до отказа»). Это, по нашему мнению, связано с большой продолжительностью этих тестов

и большим временем восстановления по сравнению с Вингейт-тестом.

В целом же можно сделать вывод, что однократное выполнение физической нагрузки не приводит к существенным изменениям частотных характеристик дыхательной системы спортсменов и не зависит от характера выполненной нагрузки.

В таблице 2-4 представлены индивидуальные и среднегрупповые значения ЖЕЛ и ФЖЕЛ спортсменов.

Как показывают данные представленные в таблице 2, после выполнения физической нагрузки на беговой дорожке показатели ЖЕЛ и ФЖЕЛ среди мужчин незначительно увеличились, в среднем по группе на 3,3% и 3,1% соответственно. При этом увеличение ЖЕЛ после тестирования на беговой дорожке регистрировалось у всех спортсменов. В группе женщин наблюдалась обратная динамика: после выполнения физической нагрузки показатели как ЖЕЛ, так и ФЖЕЛ уменьшились на 1,9%.

После выполнения нагрузочного тестирования на велоэргометре среди мужчин уменьшение ЖЕЛ на-

блюдала у четырех спортсменов, у троих ЖЕЛ после нагрузки увеличилась (табл. 3). ФЖЕЛ также уменьшилась после нагрузки у четырех спортсменов. Среднегрупповые показатели ЖЕЛ и ФЖЕЛ среди мужчин после выполнения физической нагрузки «до отказа» на велоэргометре существенно не изменились.

Существенно не изменились показатели ЖЕЛ и ФЖЕЛ среди женщин. После тестирования на велоэргометре незначительное увеличение ЖЕЛ и ФЖЕЛ отмечено у шести спортсменок и восьми. Увеличение средних показателей ЖЕЛ по группе после нагрузки составило 1%, ФЖЕЛ – не превысило 2%.

Анализ показатели ЖЕЛ и ФЖЕЛ, зарегистрированных у спортсменов, которые выполняли тестирование по программе 30-секундного анаэробного Вингейт-теста показал, что среди мужчин увеличение ЖЕЛ и ФЖЕЛ составило 1,2% и 1,0% соответственно.

Среди женщин после нагрузки показатели ЖЕЛ остались без изменений, ФЖЕЛ уменьшилась на 1,1% (табл. 4).

Таблица 2

Индивидуальные данные ЖЕЛ и ФЖЕЛ до и после физической нагрузки (тест на беговой дорожке «до отказа»)

Table 2

Individual VLC and FVLC data before and after physical activity (treadmill test «to failure»)

№ п/п	Спортсмен / Athlete До нагрузки / Before Strain	Жизненная емкость легких (ЖЕЛ), л / Lung vital capacity, l		Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), л / Forced lung vital capacity, l	
		После нагрузки / After Strain	До нагрузки / Before Strain	После нагрузки / After Strain	После нагрузки / After Strain
Мужчины / Men					
1	М-2	4,22	4,43	5,76	5,65
2	М-3	5,47	5,53	5,72	5,57
3	М-5	5,05	5,62	5,75	5,84
4	М-6	5,69	5,72	5,64	6,81
5	М-7	5,27	5,31	6,29	6,36
6	М-9	5,21	5,49	5,52	5,52
7	М-10	6,30	6,35	6,27	6,45
М		5,32	5,49	5,85	6,03
σ		0,2591	0,2337	0,1245	0,2072
Изменения, % / Changes, %			3,3		3,1
Женщины / Woman					
1	Ж-1	4,50	4,29	4,51	4,41
2	Ж-5	3,39	3,08	3,28	2,99
3	Ж-7	3,16	3,23	3,08	3,27
4	Ж-8	3,27	3,37	3,33	3,42
5	Ж-9	4,04	4,04	4,06	3,83
М		3,67	3,60	3,65	3,58
σ		0,2573	0,2377	0,2713	0,2471
Изменения, % / Changes, %			-1,9		-1,9

Примечание: М – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Note: M – mean value, σ – standard deviation.

Таблица 3

Индивидуальные данные ЖЕЛ и ФЖЕЛ до и после физической нагрузки (тест на велоэргометре «до отказа»)

Table 3

Individual LC and FLC data before and after physical activity (test on a bicycle ergometer «to failure»)

№ п/п	Спортсмен / Athlete До нагрузки / Before Strain	Жизненная емкость легких (ЖЕЛ), л / Lung vital capacity, l		Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), л / Forced lung vital capacity, l	
		После нагрузки / After Strain	До нагрузки / Before Strain	После нагрузки / After Strain	После нагрузки / After Strain
Мужчины Men					
1	М-1	6,80	6,93	7,03	6,98
2	М-2	5,55	5,49	5,78	5,54
3	М-3	5,11	5,78	5,81	5,88
4	М-4	4,26	4,21	4,50	4,61
5	М-6	6,07	5,72	6,71	6,67
6	М-7	5,92	6,06	6,31	6,22
7	М-10	4,86	4,27	6,31	6,40
	<i>M</i>	5,51	5,49	6,06	6,04
	<i>σ</i>	0,3197	0,3672	0,3110	0,2993
	Изменения, % / Changes, %		-0,3		-0,4
Женщины / Woman					
1	Ж-1	4,23	4,28	4,38	4,43
2	Ж-2	3,91	4,09	4,00	4,17
3	Ж-3	2,99	3,05	3,06	3,14
4	Ж-4	3,56	3,67	3,53	3,83
5	Ж-5	3,20	3,07	3,00	3,21
6	Ж-6	3,42	3,51	3,47	3,49
7	Ж-9	4,37	4,26	4,28	4,06
8	Ж-10	3,48	3,56	3,58	3,49
	<i>M</i>	3,65	3,69	3,66	3,73
	<i>σ</i>	0,1717	0,1730	0,1829	0,1656
	Изменения, % / Changes, %		1,1		1,8

Примечание: М – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Note: M – mean value, σ – standard deviation.

Таблица 4

Индивидуальные данные ЖЕЛ и ФЖЕЛ до и после физической нагрузки (Вингейт-тест на велоэргометре)

Table 4

Individual VLC and FVLC data before and after physical activity (Wingate test on a bicycle ergometer)

№ п/п	Спортсмен / Athlete	Жизненная емкость легких (ЖЕЛ), л / Lung vital capacity, l		Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), л / Forced lung vital capacity, l	
		До нагрузки / Before Strain	После нагрузки / After Strain	До нагрузки / Before Strain	После нагрузки / After Strain
Мужчины / Men					
1	М-1	6,69	6,95	6,95	7,08
2	М-4	4,53	4,47	4,55	4,61
3	М-5	5,64	5,90	6,08	5,92
4	М-8	5,83	5,65	5,52	5,72
	<i>M</i>	5,67	5,74	5,78	5,83
	<i>σ</i>	0,44	0,51	0,50	0,51
	Изменения, % / Changes, %		1,2		1,0
Женщины / Woman					
1	Ж-2	3,98	4,12	4,08	4,17
2	Ж-3	3,19	3,21	3,26	3,14
3	Ж-4	3,92	3,75	3,79	3,69
4	Ж-6	3,58	3,32	3,52	3,50
5	Ж-7	3,18	3,39	3,54	3,36
6	Ж-8	3,32	3,40	3,30	3,39
	<i>M</i>	3,53	3,53	3,58	3,54
	<i>σ</i>	0,15	0,14	0,13	0,15
	Изменения, % / Changes, %		0,1		-1,1

Примечание: М – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Note: M – mean value, σ – standard deviation.

Таким образом, выполнение как длительной физической нагрузки аэробного характера (беговая дорожка и велоэргометр), так и короткой физической нагрузки анаэробного характера (Вингейт-тест) не приводит к достоверному увеличению или уменьшению показателей ЖЕЛ, ФЖЕЛ и частотных характеристик дыхательной системы спортсменов. На это указывает то, что максимальное увеличение ЖЕЛ и ФЖЕЛ выявлено среди мужчин после выполнения нагрузочного тестирования на беговой дорожке, которое, однако, не превышало 4% и не достигало уровня достоверности. Минимальное изменение показателей ЖЕЛ и ФЖЕЛ выявлено также в группе спортсменов мужчин после выполнения ими тестирования на велоэргометре (тест «до отказа»). Достоверное изменение резонансных частот зарегистриро-

вано среди мужчин только на фазе выдоха после нагрузки на велоэргометре (тест «до отказа»), среди женщин – только на фазе вдоха после теста на беговой дорожке.

4. Выводы

Результаты исследования, свидетельствующие о том, что выполнение как длительной физической нагрузки аэробного характера, так и короткой физической нагрузки анаэробного характера не приводит к достоверным изменениям частотных характеристик дыхательной системы спортсменов, позволяют сделать вывод о больших потенциальных возможностях биоакустической стимуляции дыхательной системы в задачах спортивной медицины, поскольку она проводится в любой период соревновательно-тренировочного процесса в удобное для спортсмена время.

Список литературы

1. **Smith D.** Athlete's Breath // *Actual Problems of Pulmonology*. 2018. Vol.7, №5. P.128-133.
2. **Clinton A, Jefferson M.** Athlete's respiratory monitoring equipment and some results of its application // *Biomedical Engineering and Applications*. 2020. Vol.1, №1. P.12-18.
3. **Patterson M.** Changes in the immune status in the training cycle of youth skiers // *Biomedical problems of sports*. 2019. Vol.9, №10. P.67-73.
4. **Драган С.П., Богомолов А.В., Разинкин С.М., Корчажкина Н.Б., Ерофеев Г.Г. и др.** Способ повышения функциональных резервов организма. Патент РФ на изобретение RUS № 2587970, 27.01.2015.
5. **Богомолов А.В., Драган С.П.** Математическое обоснование акустического метода измерения импеданса дыхательного тракта // Доклады Академии наук. 2015. Т.464, №5. С.623.
6. **Драган С.П., Богомолов А.В.** Метод акустической импедансометрии дыхательного тракта // *Медицинская техника*. 2015. №5. С.19-21.
7. **Chuan F, Kreilin S.** Sports pulmonology and sports medicine // *Pulmonology and physiotherapy*. 2019. Vol.2, №3. P.76-83.
8. **Moses A, Franklin V.** Problems of physical training of athletes-skiers // *Cyclic sports*. 2020. Vol.2, №4. P.54-67.
9. **Мануйлов И.В.** Сезонные реакции статических легочных объемов и емкостей у спортсменов-лыжников на европейском севере // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2013. №2(31). С.48-49.
10. **Гридин Л.А., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.** Методологические основы исследования физической работоспособности человека // Актуальные проблемы физической подготовки силовых структур. 2011. №1. С.10-19.
11. **Богомолов А.В., Драган С.П., Ерофеев Г.Г.** Математическая модель поглощения звука лёгкими при акустической стимуляции дыхательной системы // Доклады Академии наук. 2019. Т.487. №1. С.97-101.
12. **Алехин М.Д., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.** Методики анализа паттернов дыхания при бесконтактном мониторинге психофизиологических состояний операторов эргатических систем // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2019. Т.53, №2. С.99-101.
13. **Chen P.** Current Trends in the Physiology of Sport // *Sports Communications*. 2019. Vol.5, №1. P.8-14.

References

1. **Smith D.** Athlete's Breath. *Actual Problems of Pulmonology*. 2018;7(5):128-133.
2. **Clinton A, Jefferson M.** Athlete's respiratory monitoring equipment and some results of its application. *Biomedical Engineering and Applications*. 2020;1(1):12-18.
3. **Patterson M.** Changes in the immune status in the training cycle of youth skiers. *Biomedical problems of sports*. 2019;9(10):67-73.
4. **Dragan SP, Bogomolov AV, Razinkin SM, Korchazhkina NB, Erofeev GG et al.** Sposob povysheniya funktsional'nykh rezervov organizma. Patent na izobretenie RUS № 2587970, 27.01.2015. (In Russ.)
5. **Bogomolov AV, Dragan SP.** Matematicheskoe obosnovanie akusticheskogo metoda izmereniya impedansa dykhatel'nogo trakta. *Doklady Akademii nauk*. 2015;464(5):623. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0869565215290253
6. **Dragan SP, Bogomolov AV.** Metod akusticheskoy impedansometrii dykhatel'nogo trakta. *Meditinskaya tekhnika*. 2015;(5):19-21. (In Russ.)
7. **Chuan F, Kreilin S.** Sports pulmonology and sports medicine. *Pulmonology and physiotherapy*. 2019;2(3):76-83.
8. **Moses A, Franklin V.** Problems of physical training of athletes-skiers. *Cyclic sports*. 2020;2(4):54-67.
9. **Manuylov IV.** Sezonnnye reaktzii staticheskikh legochnykh ob'emov i emkostey u sportsmenov-lyzhnikov na evropeyskom severe. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2013;31(2):48-49. (In Russ.)
10. **Gridin LA, Bogomolov AV, Kukushkin YuA.** Methodological bases of physical working capacity investigation. *Aktual'nye problemy fizicheskoy podgotovki silovykh struktur*. 2011;(1):10-19. (In Russ.)
11. **Bogomolov AV, Dragan SP, Erofeev GG.** Mathematical Model of Sound Absorption by Lungs with Acoustic Stimulation of the Respiratory System. *Doklady Akademii nauk*. 2019;487(1):97-101. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869-5652487197-101
12. **Alekhin MD, Bogomolov AV, Kukushkin YuA.** Methods for analysis of respiratory patterns during non-contact monitoring of psychophysiological states of ergatic systems operators. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2019;53(2):99-101. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-2-99-101 (In Russ.)
13. **Chen P.** Current Trends in the Physiology of Sport. *Sports Communications*. 2019;5(1):8-14.

14. Драган С.П., Ерофеев Г.Г., Богомолов А.В., Шулепов П.А. Акустическая импедансометрия в задачах определения резонансных характеристик респираторного тракта для биоакустической стимуляции лёгких спортсменов // Медицинская наука и образование Урала. 2018. Т.19, №3(95). С.50-55.

15. Ерофеев Г.Г., Разинкин С.М., Драган С.П., Петрова В.В., Шулепов П.А. Оценка влияния физической нагрузки на частотные характеристики дыхательной системы у спортсменов лыжников // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2018. Т. 95, №2-2. С.53-54.

16. Богомолов А.В., Драган С.П. Математическое моделирование акустической импедансометрии дыхательного тракта // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2015. Т.22, №1. С.61-63.

17. Драган С.П., Богомолов А.В., Ерофеев Г.Г. Устройство для импедансных исследований функции внешнего дыхания. Патент на полезную модель RU № 14848, 10.12.2014.

18. Драган С.П., Богомолов А.В., Разинкин С.М., Корчажкина Н.Б., Ерофеев Г.Г. и др. Устройство для звуковой стимуляции дыхательной системы. Патент на полезную модель RU № 154260, 27.01.2015.

19. Драган С.П., Богомолов А.В., Ерофеев Г.Г. Способ диагностики состояния дыхательного тракта. Патент РФ на изобретение RU № 2572750, 20.01.2016.

20. Белоцерковский З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов. М.: Советский спорт. 2009, 348с.

21. Brian K. Diagnosis of physical performance of athletes in the training cycle. New York: Prime Lites, 2019. 248p.

22. Pullman R, Shulman K, Molly N. Ergodynamics of the sport of the highest achievements. Boston: Quasica, 2018. 302p.

23. Protsak V, Claudi M, Troni E. Performance under physical exertion. Washington, Classic Sport, 2018. 130p.

24. Kroyden G, Shpoki V, Truden F, Kuksi D. Equipment for automated monitoring of swimmers physical performance. New York, Alptrade, 2019. 68p.

25. Welling E, Kratov U, Salzman S, Cooling P, Warden T. Bicycle ergometry and sports. Memphis, 2017. 110p.

26. Wilkes M. Annals of Sports Cardiology. New York: Prime Lites, 2020. 128p.

27. Birren K, Vraden D, Smith D, Cantor F. Immunobiochemical correlates of physical performance. New York: Prime Lites, 2017. 146p.

14. Dragan SP, Erofeev GG, Bogomolov AV, Shulepov PA. Acoustic impedance measurement in determining the resonant characteristics of respiratory tract for bioacoustics stimulation athletes lungs. *Medical science and education of Ural*. 2018;19(3):50-55. (In Russ.)

15. Erofeev GG, Razinkin SM, Dragan SP, Petrova VV, Shulepov PA. Otsenka vliyaniya fizicheskoy nagruzki na chastotnye kharakteristiki dykhatel'noy sistemy u sportsmenov lyzhnikov. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy*. 2018;95(2-2):53-54. (In Russ.)

16. Bogomolov AV, Dragan SP. Matematicheskoe modelirovanie akusticheskoy impedansometrii dykhatel'nogo trakta. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki*. 2015;22(1):61-63. (In Russ.)

17. Dragan SP, Bogomolov AV, Erofeev GG. Ustroystvo dlya impedansnykh issledovaniy funktsii vneshnego dykhaniya. Patent na poleznuyu model' RU № 14848, 10.12.2014. (In Russ.)

18. Dragan SP, Bogomolov AV, Razinkin SM, Korchazhkina NB, Erofeev GG et al. Ustroystvo dlya zvukovoy stimulyatsii dykhatel'noy sistemy. Patent na poleznuyu model' RU № 154260, 27.01.2015. (In Russ.)

19. Dragan SP, Bogomolov AV, Erofeev GG. Sposob diagnostiki sostoyaniya dykhatel'nogo trakta. Patent na izobreteniye RU № 2572750, 20.01.2016. (In Russ.)

20. Belotserkovskiy ZB. Ergometricheskie i kardiologicheskie kriterii fizicheskoy rabotosposobnosti u sportsmenov. Moscow, Sovetskij sport. 2009,348p. (In Russ.)

21. Brian K. Diagnosis of physical performance of athletes in the training cycle. New York: Prime Lites, 2019. 248p.

22. Pullman R, Shulman K, Molly N. Ergodynamics of the sport of the highest achievements. Boston: Quasica, 2018. 302p.

23. Protsak V, Claudi M, Troni E. Performance under physical exertion. Washington, Classic Sport, 2018. 130p.

24. Kroyden G, Shpoki V, Truden F, Kuksi D. Equipment for automated monitoring of swimmers physical performance. New York, Alptrade, 2019. 68p.

25. Welling E, Kratov U, Salzman S, Cooling P, Warden T. Bicycle ergometry and sports. Memphis, 2017. 110p.

26. Wilkes M. Annals of Sports Cardiology. New York: Prime Lites, 2020. 128p.

27. Birren K, Vraden D, Smith D, Cantor F. Immunobiochemical correlates of physical performance. New York: Prime Lites, 2017. 146p.

Сведения об авторах:

Ерофеев Геннадий Григорьевич, старший научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, к.м.н. (+7(903)786-41-65, gniiivm-s@yandex.ru). ORCID ID: 0000-0001-7582-1902

Information about the authors:

Gennadiy G. Erofeev, MD, Ph.D. (Medicine), Senior Researcher of the Burnasyan SRC-FMBC (+7(903)786-41-65, gniiivm-s@yandex.ru). ORCID ID: 0000-0001-7582-1902

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

Funding: the study had no sponsorship

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию: 7.11.2019

Статья принята к публикации: 09.02.2020

Accepted: 7 November 2019

Received: 09 February 2020