

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА НА ОСНОВЕ БИОАКУСТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

С.П. Драган*, С.М. Разинкин, Г.Г. Ерофеев

ФГБУ «Государственный научный центр РФ — Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И. Бурназяна» ФМБА России
123182, Российская Федерация, Москва, ул. Живописная, 46

Одним из перспективных подходов к повышению функциональных резервов организма человека является технология, основанная на воздействии низкочастотных колебаний на дыхательную систему. Для реализации такой технологии необходимо обосновать оптимальные режимы биоакустической стимуляции дыхательной системы. Поэтому целью проведенного исследования являлось теоретико-экспериментальное обоснование технологии повышения функциональных резервов организма на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы. Измерения акустического импеданса осуществляли на полигармоническом звуковом сигнале в диапазоне частот от 3-х до 51-го Гц с шагом 3 Гц на всех трех фазах дыхания: полный вдох с задержкой дыхания, глубокий выдох с задержкой дыхания и свободное носовое поверхностное дыхание без задержки. После определения резонансных частот дыхательного тракта в течение двух недель проведены шесть сеансов биоакустической стимуляции на группе из 20-ти испытуемых, включая плацебо-воздействие. В группе воздействия уровень звукового давления составлял 130 дБ, а в контрольной группе — 60 дБ, что ниже порога слышимости на этих частотах. Шестикратное воздействие сканирующим тональным сигналом с уровнем звукового давления 130 дБ в диапазоне частот 22–36 Гц привело к увеличению резонансной частоты дыхательной системы, снижению коэффициента поглощения звуковых колебаний дыхательной системой и увеличению сопротивления дыхательной системы звуковой волне. Эти эффекты объясняются тем, что в результате воздействия произошло открытие резервных альвеол и увеличение площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол. Анализ результатов экспериментов в обеих группах в динамике шести сеансов стимуляции свидетельствует о том, что их значения для контрольной группы испытуемых практически не изменялись на всех сроках наблюдения. В то время как аналогичные показатели в группе воздействия имеют существенное отличие от фоновых значений. Показано, что для повышения функциональных резервов организма можно ограничиться двумя процедурами биоакустической стимуляции.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Драган С.П., Разинкин С.М., Ерофеев Г.Г. Технология повышения функциональных резервов организма на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы. *Биомедицина*. 2021;17(3):39–47. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-3-39-47>

Поступила 18.01.2021

Принята после доработки 05.04.2021

Опубликована 10.09.2021

A TECHNOLOGY FOR INCREASING THE FUNCTIONAL RESERVES OF THE BODY BASED ON BIOACOUSTIC STIMULATION OF THE RESPIRATORY SYSTEM

Sergey P. Dragan*, Sergey M. Razinkin, Gennadiy G. Erofeev

*State Scientific Center of the Russian Federation — Burnazyan Federal Medical Biophysical Center
of the Federal Medical and Biological Agency of Russia
123182, Russian Federation, Moscow, Zhivopisnaya Str., 46*

A technology based on the effect of low-frequency vibrations on the respiratory system is a promising approach to increasing the functional reserves of the human body. To implement such a technology, it is necessary to justify the optimal modes of bioacoustic stimulation of the respiratory system. Therefore, the aim of the study was a theoretical and experimental justification of the technology to increase the functional reserves of the body based on bioacoustic stimulation of the respiratory system. Acoustic impedance was measured on a polyharmonic sound signal in the frequency range from 3 Hz to 51 Hz with a step of 3 Hz in all three phases of respiration: a full breath with a breath hold, a deep breath with a breath hold and free nasal surface breathing without a delay. After determining the resonant frequencies of the respiratory tract for two weeks, six sessions of bioacoustic stimulation were conducted on a group of 20 testers, including placebo exposure. In the exposure group, the sound pressure level was 130 dB, and in the control group - 60 dB, which is below the audibility threshold at these frequencies. Six-fold exposure to a scanning tone signal with a sound pressure level of 130 dB led to an increase in the resonant frequency of the respiratory system, a decrease in the absorption coefficient of sound vibrations by the respiratory system, and an increase in the resistance of the respiratory system to the sound wave. These effects can be explained by the fact that, as a result of exposure, reserve alveoli were discovered and the cross-sectional area of the alveolar passages and respiratory bronchioles increased. An analysis of the results of experiments in both groups in the dynamics of six stimulation sessions suggests that their values for the control group of testers practically did not change at all periods of observation. At the same time, similar indicators in the exposure group have a significant difference from the background values. It was shown that, in order to increase the functional reserves of the body, two bioacoustic stimulation treatments can be sufficient.

Key words: functional reserves of the body, respiratory system, bioacoustic stimulation, respiratory reserves, lung capacity

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Dragan S.P., Razinkin S.M., Erofeev G.G. A Technology for Increasing the Functional Reserves of the Body Based on Bioacoustic Stimulation of the Respiratory System. *Journal Biomed.* 2021;17(3):39–47. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-3-39-47>

Submitted 18.01.2021

Revised 05.04.2021

Published 10.09.2021

Введение

Одним из актуальных направлений спортивной медицины в настоящее время является повышение функциональных резервов организма спортсмена на основе нелекарственных (немедикаментозных) технологий [1–5]. К их числу относятся технологии, основанные на воздействии низкочастотных колебаний на дыхательную систе-

му человека [6–9]. Анализ результатов экспериментальных исследований дает основание предположить, что стимуляция дыхательной системы низкочастотными акустическими колебаниями может привести к увеличению жизненной ёмкости легких, улучшению газообмена и, соответственно, к увеличению выносливости и работоспособности [10–13].

Реакции дыхательной системы на низкочастотные акустические воздействия изменяются в зависимости от их частоты и интенсивности, а также зависят от антропометрических характеристик человека [10, 14]. К респираторным реакциям относят вибрацию грудной клетки и диафрагмы с основной частотой воздействия, изменение глубины и ритма дыхания, прекращение экскурсии грудной клетки без нарушения газообмена в легких. Последний эффект, в частности, находит практическое применение в травматологии, когда к пациенту подключают аппарат искусственного дыхания, работающего с частотой (индивидуальной для каждого пациента), обеспечивающей полноценную вентиляцию легких без экскурсии грудной клетки, что позволяет купировать болевой синдром при наличии переломов ребер.

Целью исследования являлось теоретико-экспериментальное обоснование технологии повышения функциональных резервов организма на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы.

Материалы и методы

Метод биоакустической стимуляции дыхательной системы основан на эффекте открытия резервных альвеол и увеличении площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, т. е. увеличении жизненной емкости легких [20, 21]. При воздействии высокоинтенсивными звуками низкой частоты на резонансных частотах, где сопротивление минимально, давление в падающей волне с небольшим затуханием переносится по воздушным каналам на всю глубину воздушной полости. При увеличении давления в альвеолах повышается градиент между плевральной полостью и легкими. В плевральной полости давление на 3–4 мм. рт. ст. ниже, чем в легких, что соответствует 400–533 Па. Отрицательное давление в плевральной по-

лости поддерживается на протяжении всего вдоха. Так, при воздействии падающей волны на входе респираторного тракта 130 дБ (63,2 Па) изменение градиента давления между легкими и плевральной полостью составит $\approx 10\%$, следовательно, можно ожидать пропорционального увеличения жизненной ёмкости легких.

Для технической реализации метода изготовлен аппаратно-программный комплекс биоакустической стимуляции дыхательной системы (АПК БСДС) [17–20]. Измерение акустического импеданса позволяет определить индивидуальные резонансные частоты и коэффициенты поглощения звука в широком диапазоне частот. Биоакустическую стимуляцию осуществляют сканирующим сигналом в диапазоне частот 22–36 Гц на уровне ± 3 дБ от максимального значения коэффициента поглощения [21–24]. На фазе вдоха частота снижалась, а на фазе выдоха — повышалась. Ритм дыхания спортсмена был синхронизирован со скоростью сканирования и составлял 2–4 с.

Испытатели-добровольцы, принявшие участие в исследовании, были ознакомлены с условиями проведения процедуры, одобренной биоэтической комиссией ГНЦ РФ — ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России, и дали письменное информированное добровольное согласие.

Методика измерения состояла в выполнении следующих процедур. При измерениях на полном вдохе испытуемый берет загубник в рот и при этом контролирует положение уголков губ, чтобы плотно прилегали к загубнику и обеспечивали герметичность соединения, язык должен находиться под загубником так, чтобы не перекрывать выходное сечение загубника. Спортсмен делает плавный полный вдох, при этом контролирует состояние грудных и голосовых мышц с тем, чтобы был обеспечен доступ звукового сигнала в трахею. После полного вдоха задерживает дыхание на 15 с, в течение которых

осуществляется измерение. Затем процедура измерения с задержкой дыхания на 15-й секунде после глубокого плавного выдоха повторяется. При этом также контролируется состояние грудных и голосовых мышц с тем, чтобы был обеспечен доступ звукового сигнала в трахею.

Далее спортсмен дышит носом в спокойном режиме поверхностным дыханием. Длительность процедуры составляла также 15 с. По окончании процедуры вся информация записывается и сохраняется в виде файла в базе данных. Множество акустических характеристик дыхательного тракта включает 6 показателей [21–24]:

частота резонанса — f_0 (определяется по пересечению графиком реактанса линии $Y=0$);

коэффициент поглощения на частоте f_0 — $\alpha(f_0)$;

резистанс (сопротивление) на частоте f_0 — $R(f_0)$;

частота максимума коэффициента поглощения — $f(\alpha_{\max})$;

максимальное поглощение — α_{\max} ;

резистанс на частоте максимума коэффициента поглощения $R(\alpha_{\max})$.

Статистические методы анализа включали методы описательной статистики, метод проверки соответствия теоретического и экспериментального законов распределения на основе критерия хи-квадрат, методы статистической проверки гипотез о равенстве средних арифметических значений показателей в сопоставляемых группах, двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями.

Результаты и их обсуждение

При помощи разработанного АПК БСДС проведены измерения акустического импеданса. Измерения осуществляли на полигармоническом сигнале в диапазоне частот от 3-х до 51-го Гц с шагом 3 Гц на всех трех фазах дыхания: полный вдох с задержкой дыхания, глубокий выдох с задержкой ды-

хания и свободное носовое поверхностное дыхание без задержки.

После определения резонансных частот дыхательного тракта были проведены в течение двух недель шесть сеансов биоакустической стимуляции на группе из 20-ти испытуемых, включая ложное воздействие, контрольная группа также включала 20 испытуемых. В исследовании участвовали 20 спортсменов-мужчин (возраст $24,3 \pm 0,8$ лет), занимающиеся лыжными видами спорта (лыжные гонки, биатлон, лыжероллеры) и отвечающие следующим критериям: спортивный разряд не ниже I взрослого; отсутствие медицинских противопоказаний к участию в клинических испытаниях; заключившие письменное информированное согласие на участие в клинических испытаниях, а также согласие на все ограничения, налагаемые в ходе их проведения.

Мастеров спорта было 2 человека, КМС — 4 человека, имевших I разряд — 14 человек.

Средние значения роста и веса в группе воздействия и контроля составили соответственно: $175,80 \pm 2,47$ см; $185,6 \pm 1,79$ см; $75,58 \pm 3,89$ кг; $76,47 \pm 1,35$ кг.

Каждый сеанс состоял из трех трехминутных воздействий. Между каждым воздействием был перерыв в течение 1 мин. Вся продолжительность процедуры за один сеанс составляла 11 мин. Сеансы биоакустической стимуляции проводились через день. В группе воздействия уровень звукового давления (УЗД) составлял 130 дБ, а в контрольной группе (в группе с ложным воздействием) УЗД=60 дБ, что ниже порога слышимости.

Результаты измерений акустических показателей дыхательного тракта у испытуемых контрольной группы и группы воздействия сопоставили между собой. На рисунке приведены все результаты измерений резонансных частот на фазах вдоха, выдоха и при свободном дыхании обеих групп испытуемых.

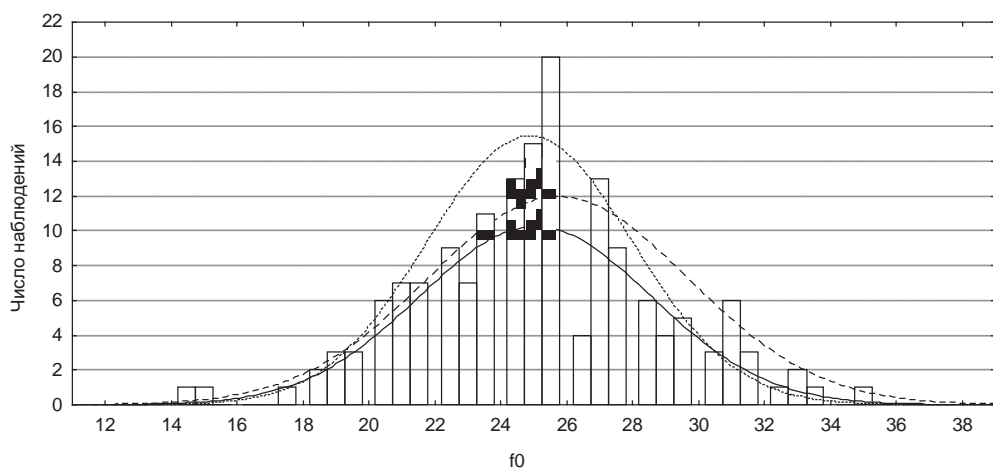


Рис. Гистограмма распределения резонансной частоты в группе воздействия и контроля для разных фаз дыхания (по оси абсцисс — резонансная частота f_0 , по оси ординат — число наблюдений; косая штриховка слева направо, снизу вверх — режим вдоха, косая штриховка справа налево, снизу вверх — режим выдоха, горизонтальная штриховка — режим свободного дыхания; сплошная линия плотности вероятности соответствует вдоху, пунктирная — выдоху, точечная — свободному дыханию).

Fig. A histogram of the distribution of the resonant frequency in the exposure and control group for different phases of respiration (the abscissa shows the resonance frequency f_0 , the ordinate shows the number of observations; oblique hatching from left to right, bottom-up — inspiratory mode, oblique hatching from right to left, bottom up-exhalation mode, horizontal hatching — free breathing mode; a solid line of probability density corresponds to inhalation, a dashed line — to exhalation, dotted — to free breathing).

С помощью критерия χ -квадрат показано, что законы распределения всех шести регистрируемых показателей соответствуют нормальному распределению. Поэтому проверка на статистическую значимость различий между зарегистрированными показателями для различных фаз дыхания в группах контроля и воздействия осуществлялась с помощью критерия Стьюдента.

В группах воздействия и контроля статистически достоверной разницы между средними значениями соответствующих показателей в разных фазах режима дыхания не обнаружено (при уровне значимости $p=0,05$).

Результаты статистического сопоставления значений акустических показателей дыхательного тракта у испытуемых свидетельствуют о том, что в группе воздействия биоакустической стимуляции они достоверно изменились по сравнению с контрольной группой.

Шестикратное воздействие сканирующим тональным сигналом с уровнем звукового давления 130 дБ в диапазоне частот 22–36 Гц привело к следующим изменениям акустических показателей дыхательного тракта у испытуемых-добровольцев: резонансная частота увеличилась; коэффициент поглощения снизился; сопротивление звуковой волне увеличилось.

В качестве акустических показателей дыхательного тракта использованы частотно-зависимые компоненты импеданса, т. е. комплексное акустическое сопротивление. Импеданс равен соотношению звукового давления к колебательной скорости частиц среды (воздуха) с учетом фазовых соотношений между ними. Увеличение активной компоненты импеданса, т. е. сопротивления звуковой волне в дыхательном тракте происходит при снижении величины колебательной скорости частиц среды и сохранении амплитуды звукового давления.

Колебательная скорость в дыхательном тракте уменьшается при увеличении площади поперечного сечения всех воздухоносных путей.

Изложенное позволяет предположить, что в результате воздействия произошло открытие резервных альвеол и увеличение площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол (17–22-й порядок ветвления).

Анализ шести показателей у испытуемых обеих групп в динамике шестикратного истинного и ложного воздействия, проведенный с помощью двухфакторного (факторы «воздействие» и «время») дисперсионного анализа с повторными измерениями, свидетельствует о том, что их значения для контрольной группы испытуемых практически не изменялись на всех сроках наблюдения. В то время как аналогичные показатели в группе воздействия имеют существенное отличие от фоновых значений: максимальные отличия между контрольной группой и группой воздействия зарегистрированы на 2-й, 3-й и 4-й сроках наблюдения (перед 2-м, 3-м и 4-м сеансом стимуляции соответственно).

Это обстоятельство свидетельствует о том, что последующие воздействия (с 3-го по 6-е) нецелесообразны. В связи с этим проведен статистический анализ изменения акустических показателей дыхательной системы в динамике наблюдений. Сопоставлялись результаты 1-го дня с 2, 3, ..., 6-м; затем 2-го дня с 3, ..., 6-м и т. д. При этом в качестве фонового воздействия использованы объединенные данные контрольной группы и группы воздействия. В результате анализа определено, что при втором обследовании (после первого воздействия) частота увеличилась с 23,6 до 27,4 Гц, резистанс (сопротивление) увеличился с 4,2 до 6,0, а коэффициент поглощения снизился с 0,62 до 0,53. Эти

изменения оказались статистически достоверными (при уровне значимости $p=0,05$).

Сопоставление фоновых значений (первое наблюдение объединенной группы) со значениями, зарегистрированными в последующие сроки у группы воздействия, имеет такую же тенденцию: частота и сопротивление увеличены, а коэффициент поглощения снижен. Эти изменения также оказались статистически достоверными.

Сопоставление акустических показателей дыхательного тракта у испытуемых группы воздействия на второе обследование и последующие не выявило статистически достоверных изменений. С целью достижения кратковременного эффекта, вместо шести процедур биоакустической стимуляции можно ограничиться двумя процедурами.

Заключение

Таким образом, применение шестикратного биоакустического воздействия сканирующим тональным сигналом с уровнем звукового давления 130 дБ в диапазоне частот 22–36 Гц привело к следующим изменениям акустических показателей дыхательного тракта у испытуемых-добровольцев: резонансная частота увеличилась; коэффициент поглощения снизился; сопротивление увеличилось. Это может свидетельствовать о том, что в результате воздействия произошло открытие резервных альвеол и увеличение площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол (17–22-й порядок ветвления). Кроме того, для достижения кратковременного эффекта, вместо шести процедур биоакустической стимуляции можно ограничиться двумя процедурами. Стимуляция дыхательной системы низкочастотными акустическими колебаниями может быть полезна для восстановительной медицины после респираторных заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Богомолов А.В., Драган С.П. Математическое обоснование акустического метода измерения импеданса дыхательного тракта. *Доклады Академии наук*. 2015;464(5):623. [Bogomolov A.V., Dragan S.P. Matematicheskoye obosnovaniye akusticheskogo metoda izmereniya impedansa dykhatel'nogo trakta [The mathematical justification of the acoustic method of measuring the impedance of the respiratory tract]. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*. 2015;464(5):623. (In Russian)].
2. Богомолов А.В., Драган С.П., Ерофеев Г.Г. Математическая модель поглощения звука лёгкими при акустической стимуляции дыхательной системы. *Доклады Академии наук*. 2019;487(1):97–101. [Bogomolov A.V., Dragan S.P., Yerofeyev G.G. Matematicheskaya model' pogloshcheniya zvuka logkimi pri akusticheskoy stimulyatsii dykhatel'noy sistemy [Mathematical model of lung sound absorption during acoustic stimulation of the respiratory system]. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*. 2019;487(1):97–101. (In Russian)].
3. Богомолов А.В., Зинкин В.Н., Драган С.П., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К., Шишов А.А. Способ эргономической квалитметрии средств индивидуальной защиты человека от воздушной акустической вибрации. Патент на изобретение RU № 2521849, 29.05.2013. [Bogomolov A.V., Zinkin V.N., Dragan S.P., Kukushkin Yu.A., Soldatov S.K., Shishov A.A. *Sposob ergonomicheskoy kvalimetrii sredstv individual'noy zashchity cheloveka ot vozduшной акустической вибрации* [The method of ergonomic qualimetry of personal protective equipment against airborne acoustic vibration]. *Invention patent* RU No. 2521849, 29.05.2013. (In Russian)].
4. Гриндин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии. *Медицина*. 2016;4(3(15)):45–68. [Gridin L.A. Sovremennyye predstavleniya o fiziologicheskikh i lechebno-profilakticheskikh effektakh deystviya gipoksii i giperkapnii [Modern views on the physiological and therapeutic-prophylactic effects of hypoxia and hypercapnia]. *Meditsina*. 2016;4(3(15)):45–68. (In Russian)].
5. Гриндин Л.А., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Методологические основы исследования физической работоспособности человека. *Актуальные проблемы физической подготовки силовых структур*. 2011;1:10–19. [Gridin L.A., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Metodologicheskiye osnovy issledovaniya fizicheskoy rabotosposobnosti cheloveka [Methodological foundations of the study of human physical performance]. *Aktual'nyye problemy fizicheskoy podgotovki silovykh struktur* [Actual problems of physical training of power structures]. 2011;1:10–19. (In Russian)].
6. Дворников М.В., Кленков Р.Р. Пути использования скрининг-диагностики для оценки функционального здоровья лиц экстремальных профессий. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии*. 2017;7:44–53. [Dvornikov M.V., Klenkov R.R. Puti ispol'zovaniya skринing-dagnostiki dlya otsenki funktsional'nogo zdorov'ya lits ekstremal'nykh professiy [Ways to use screening diagnostics for assessing the functional health of people in extreme professions]. *Bulletin of neurology, psychiatry and neurosurgery*. 2017;7:44–53. (In Russian)].
7. Драган С.П., Богомолов А.В., Ерофеев Г.Г. *Способ диагностики состояния дыхательного тракта*. Патент на изобретение RU № 2572750, 20.01.2016. [Dragan S.P., Bogomolov A.V., Yerofeyev G.G. *Sposob diagnostiki sostoyaniya dykhatel'nogo trakta* [A method for diagnosing the condition of the respiratory tract]. *Invention patent* RU No. 2572750, 20.01.2016. (In Russian)].
8. 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. [Dragan S.P., Bogomolov A.V., Yerofeyev G.G. *Ustroystvo dlya impedansnykh issledovaniy funktsii vneshnego dykhaniya* [Device for impedance studies of the function of external respiration]. *Utility model patent* RU № 14848, 10.12.2014. (In Russian)].
9. Драган С.П., Богомолов А.В., Разинкин С.М., Корчажкина Н.Б., Ерофеев Г.Г., Ивашин В.А. *Способ повышения функциональных резервов организма*. Патент на изобретение RU № 2587970, 27.01.2015. [Dragan S.P., Bogomolov A.V., Razinkin S.M., Korchazhkina N.B., Yerofeyev G.G., Ivashin V.A. *Sposob povysheniya funktsional'nykh rezervov organizma* [A way to increase the functional reserves of the body]. *Invention patent* RU No. 2587970, 27.01.2015. (In Russian)].
10. Драган С.П., Богомолов А.В., Разинкин С.М., Корчажкина Н.Б., Ерофеев Г.Г., Ивашин В.А. *Устройство для звуковой стимуляции дыхательной системы*. Патент на полезную модель RU № 154260, 27.01.2015. [Dragan S.P., Bogomolov A.V., Razinkin S.M., Korchazhkina N.B., Yerofeyev G.G., Ivashin V.A. *Ustroystvo dlya zvukovoy stimulyatsii dykhatel'noy sistemy* [Device for sound stimulation of the respiratory system]. *Utility model patent* RU No. 154260, 27.01.2015. (In Russian)].
11. 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;19(3(95)):50–55. [Dragan S.P., Yerofeyev G.G., Bogomolov A.V., Shulepov P.A. Akusticheskaya impedansometriya

- v zadachakh opredeleniya rezonansnykh kharakteristik respiratornogo trakta dlya bioakusticheskoy stimulatsii logkikh sportsmenov [Acoustic impedance in determining the resonance characteristics of the respiratory tract for bioacoustic stimulation of lung athletes]. *Meditsinskaya nauka i obrazovaniye Urals [Medical science and education of the Urals]*. 2018;19(3(95)):50–55. (In Russian)].
12. Дьяченко А.И., Миняев В.И., Миняева А.В. Методы исследования роли торакального и абдоминального компонентов системы дыхания и вентиляции легких. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2007;6:15–21. [D'yachenko A.I., Minyayev V.I., Minyayeva A.V. Metody issledovaniya roli torakal'nogo i abdominal'nogo komponentov sistemy dykhaniya i ventilyatsii legkikh [Research methods for the role of the thoracic and abdominal components of the respiratory and ventilation systems]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology]*. 2007;6:15–21. (In Russian)].
13. Дьяченко А.И., Михайловская А.Н. Респираторная акустика (обзор). *Труды ИОФАН*. 2012;68:136–181. [D'yachenko A.I., Mikhaylovskaya A.N. Respiratornaya akustika (obzor) [Respiratory acoustics (review)]. *Trudy IOFAN [Proceedings of the Institute of General Physics named after A.M. Prokhorov of the RAS]*. 2012;68:136–181. (In Russian)].
14. Исупов И.Б., Сягайло Ю.А., Мазембах А.А. Функциональные характеристики респираторной системы людей различного возраста. *Природные системы и ресурсы*. 2018;8(4):15–20. [Isupov I.B., Syagaylo Yu.A., Mazembakh A.A. Funktsional'nyye kharakteristiki respiratornoy sistemy lyudey razlichnogo vozrasta [Functional characteristics of the respiratory system of people of different ages]. *Prirodnyye sistemy i resursy [Natural systems and resources]*. 2018;8(4):15–20. (In Russian)].
15. Кондаков Н.С., Авдюшенко С.А. Диагностика физиологических резервов для увеличения эффективности и безопасности тренировочного процесса спортсменов. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2019;38(S3):85–88. [Kondakov N.S., Avdyushenko S.A. Diagnostika fiziologicheskikh rezervov dlya uvelicheniya effektivnosti i bezopasnosti trenirovochnogo protsesssa sportsmenov [Diagnosis of physiological reserves to increase the efficiency and safety of the training process of athletes]. *Izvestiya Rossiyskoy Voenno-meditsinskoy akademii [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]*. 2019;38(S3):85–88. (In Russian)].
16. Разинкин С.М. Адаптационный и функциональный резервы психофизиологического состояния организма. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии*. 2009(11):10–15. [Razinkin S.M. Adaptatsionnyy i funktsional'nyy rezervy psikhofiziologicheskogo sostoyaniya organizma [Adaptation and functional reserves of the psychophysiological state of the body]. *Bulletin of neurology, psychiatry and neurosurgery*. 2009(11):10–15. (In Russian)].
17. Самойлов О.В., Пономаренко Г.Н., Енин Л.Д. Низкочастотная биоакустика. СПб: Реверс, 1994:215. [Samoylov O.V., Ponomarenko G.N., Yenin L.D. Nizkochastotnaya bioakustika [Low frequency bioacoustics]. Sankt-Peterburg: Revers Publ., 1994:215. (In Russian)].
18. Уйба В.В., Котенко К.В., Степанов В.С. Биологическое действие инфразвука (гигиенические и медико-биологические аспекты). Под ред. акад. РАМН Л.А. Ильина. М., 2012:384. [Uyba V.V., Kotenko K.V., Stepanov V.S. Biologicheskoye deystviye infrazvuka (gigienicheskie i mediko-biologicheskkiye aspekty) [The biological effect of infrasound (hygienic and medico-biological aspects)]. Ed. by Acad. of RAS L.A. Il'ina. Moscow, 2012:384. (In Russian)].
19. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонализированной адаптационной медицины. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2014;69(5–6):124–128. [Ushakov I.B., Bogomolov A.V. Informatizatsiya programm personifitsirovannoy adaptatsionnoy meditsiny [Informatization of personified adaptive medicine programs]. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk (Bulletin of RAMS)*. 2014;69(5–6):124–128. (In Russian)].
20. Яцык В.З., Болотин А.Э., Парамзин В.Б., Паеусов С.А. Эффективность комплексного применения дыхательных упражнений в процессе развития выносливости у биатлонистов. *Физическая культура, спорт: наука и практика*. 2019(1):30–36. [Yatsyk V.Z., Bolotin A.E., Paramzin V.B., Payeusov S.A. Effektivnost' kompleksnogo primeneniya dykhatel'nykh upravzheniy v protsesse razvitiya vynoslivosti u biatlonistov [The effectiveness of the integrated use of breathing exercises in the development of endurance in biathletes]. *Fizicheskaya kul'tura, sport: nauka i praktika [Physical culture, sports: science and practice]*. 2019(1):30–36. (In Russian)].
21. Beketova H.V., Savinova K.B., Dybohay O.D., Mishcherska H.D. The influence of the health saving technologies on the health of the children of the primary-school age. *Modern pediatrics*. 2018;8(96):17–21.
22. Carley D.W., Applebaum R., Basner R.C., Onal E., Lopata M. Respiratory and arousal responses to acoustic stimulation. *Clinical Investigations*. 1997;112(6):1567–1571.
23. Cohen A., Berstein A.D. Acoustic transmission of the respiratory system using speech stimulation. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1991; 38(2):126–132.
24. Dragan S.P., Bogomolov A.V. A method for acoustic impedance spectroscopy of the respiratory tract. *Biomedical Engineering*. 2016;49(5):278–282.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Драган Сергей Павлович*, д.т.н., ФГБУ
«Государственный научный центр РФ —
Федеральный медицинский биофизический
центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России;
e-mail: s.p.dragan@rambler.ru

Разинкин Сергей Михайлович, д.м.н., проф.,
ФГБУ «Государственный научный центр РФ —
Федеральный медицинский биофизический
центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России;
e-mail: razinkinsm@fmbcfmba.ru

Ерофеев Геннадий Григорьевич, к.м.н.,
ФГБУ «Государственный научный центр РФ —
Федеральный медицинский биофизический
центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России;
e-mail: erofeevgg@fmbcfmba.ru

Sergey P. Dragan*, Dr. Sci. (Tech.), State Scientific
Center of the Russian Federation — Burnazyan
Federal Medical Biophysical Center of the Federal
Medical and Biological Agency of Russia;
e-mail: s.p.dragan@rambler.ru

Sergey M. Razinkin, Dr. Sci. (Med.), Prof., State
Scientific Center of the Russian Federation —
Burnazyan Federal Medical Biophysical Center
of the Federal Medical and Biological Agency of
Russia;
e-mail: razinkinsm@fmbcfmba.ru

Gennadiy G. Erofeev, Cand. Sci. (Med.), State
Scientific Center of the Russian Federation —
Burnazyan Federal Medical Biophysical Center
of the Federal Medical and Biological Agency of
Russia;
e-mail: erofeevgg@fmbcfmba.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author