На правах рукописи

Ерофеев Геннадий Григорьевич

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИОАКУСТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

3.1.33 Восстановительная медицина, спортивная медицина,
лечебная физкультура, курортология и физиотерапия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Ессентуки, 2023

Диссертация выполнена в Лаборатории медико-биологического сопровождения деятельности лиц экстремальных профессий Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), г. Москва.

Научные консультанты:

Разинкин Сергей Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории медико-биологического сопровождения деятельности лиц экстремальных профессий ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

Драган Сергей Павлович, доктор технических наук, заведующий Лабораторией виброакустической патологии ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Официальные оппоненты:

Пономаренко Геннадий Николаевич, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации;

Дидур Михаил Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук»;

Ключников Сергей Олегович, доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства».

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук».

Защита диссертации состоится «___» _____ 2023 г. в 10.00 часов на заседании объединённого Диссертационного совета Д 999.237.02 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России и ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» по адресу: 357501, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Кирова, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России по адресу г. Пятигорск, проспект Кирова, 30 и на сайте http//www.skfmba.ru.

Автореферат разослан « ___ »_____2023 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 999.237.02,
кандидат медицинских наук, доцент Е.Н. Чалая

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Повышение функциональных резервов организма спортсмена, в частности, функциональных резервов кардио-респираторной системы, играющей важнейшую роль в обеспечении должного уровня физической работоспособности, является одним из актуальных направлений спортивной медицины (Медведев Д.В., 2005; Хадарцев А.А., 2009; Калинкин Л.А. и др., 2010; Дышко Б.А. и др., 2011; Котенко К.В. и др., 2014; Самойлов А.С., 2016; Разинкин С.М. и др., 2022; Clinton A., Jefferson M., 2020). При реализации данного направления одной из основных задач является повышение функциональных резервов дыхательной системы организма за счет улучшения легочной вентиляции и газообмена в легких (Солопов И.Н., 2005; Дышко Б.А. и др., 2012; Драган С.П. и др., 2015; Фудин Н.А. и др., 2016; Разинкин С.М. и др., 2018; Кочергин А.Б. и др., 2021). В восстановительной медицине при проведении реабилитации пациентов с бронхолегочной патологией восстановление и улучшение функции внешнего дыхания, т.е., в первую очередь, устранение нарушений легочной вентиляции и газообмена в легких, также является одной из основных задач (Агаджанян Н.А. и др., 1987; Пономаренко Г.Н., 2006; Рассулова М.А., 2008; Жернов В.А., 2009; Малявин А.Г. и др., 2010; Шакула А.В., 2013; Оленская Т.Л. и др., 2016; Чучалин А.Г., 2021).

При решении указанной задачи приоритетным в настоящее время является использование немедикаментозных технологий (Корчажкина Н.Б. и др., 2014; Самойлов А.С. и др., 2015; Разумов А.Н. и др., 2020; Patterson M., 2019), особое место в числе которых занимают физические методы и средства, обладающие доказанной эффективностью (Пономаренко Г. Н. и др., 2009; Чучалин А.Г., 2017; Мартынов А.И. и др., 2019; Малявин А.Г. и др., 2021; Donadio M.V.F. et al., 2019).

В практике спортивной и восстановительной медицины в настоящее время активно применяется широкий спектр эффективных физических методов и средств повышения функциональных возможностей организма, в частности, кардио-респираторной системы, спортсмена/пациента (Рассулова М.А., 2008; Хадарцев А.А., 2009; Пономаренко Г. Н. и др., 2009; Малявин А.Г. и др., 2010; Разинкин С.М. и др., 2018; Дышко Б.А и др., 2020).

В тоже время, несмотря на то, что указанные технологии хорошо изучены и обладают доказанной эффективностью, потребность в новых эффективных немедикаментозных методах повышения функциональных возможностей дыхательной системы и в целом организма спортсмена/пациента, основанных на использовании различных физических факторов, остается актуальной в области спортивной и восстановительной медицины (Поляев Б.А., 2008; Самойлов А.С., 2016; Драган С.П. и др., 2018; Разумов А.Н. и др., 2020; Малявин А.Г. и др., 2021).

Это связано, во-первых, с недостаточной эффективностью и ограниченностью применения фармакологических средств у спортсменов в связи со строгим допинг-контролем или необходимостью оптимизации медикаментозной терапии у пациентов, а, во-вторых, с достижениями медицинской науки и техники в изучении и использовании в спортивной и восстановительной медицине преформированных факторов для оптимизации функциональных резервов организма человека, в частности,

функциональных резервов кардио-респираторной системы (Хадарцев А.А. и др., 2011; Мирошникова Ю.В. и др., 2014; Драган С.П. и др., 2017; Разуванов В.М., 2020).

При этом современные тенденции в развитии немедикаментозных технологий, использующих физические факторы, базируются также и на широком использовании достижений физики, информационной техники и микроэлектроники, а в развитии рынка различных методов и средств для спортивной и восстановительной медицины одним из активно развиваемых направлений является медицинское использование звуковых волн (Потапова А.А., 2019; Драган С.П. и др., 2020), среди которых особое место занимают низкочастотные акустические колебания, оказывающие не только отрицательное, но и, в определенных условиях, положительное воздействие на организм экспериментальных животных и человека (Пономаренко Г.Н., 1993; Самойлов В.О. и др., 1994; Свидовый В.И., 1994; Куралесин Н.А. 1997; Измеров Н.Ф. и др., 1998; Ахметзянов И.М. и др., 2002; Зинкин В.Н. и др., 2016; Уйба В.В. и др., 2012; Драган С.П., 2015; Иванов Н.И. и др., 2020).

Таким образом, научное обоснование и разработка новой немедикаментозной технологии повышения функциональных резервов организма человека на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для использования в спортивной и восстановительной медицине являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования

Низкочастотные акустические колебания инфразвукового диапазона, давно и эффективно используются в офтальмологии для проведения массажа глаз, реализуемого при помощи инфразвукового аппарата «Очки Сидоренко», и проведения инфразвукового фонофореза при различной офтальмопатологии (Филатов В.В., 2005; Тумасян А.Р., 2006; Сидоренко Е.И. и др., 2008; Гаунова А.Х., 2008; Николаева Г.В., 2012).

Вторым примером активного использования в медицине низкочастотных акустических колебаний является ударно-волновая терапия - метод экстракорпорального кратковременного воздействия на костную и соединительную ткани акустическими импульсами значительной амплитуды низкой частоты (16-25 Гц), активно применяемый в клинической практике при различных заболеваниях с использованием различных аппаратов (Пинчук А.Н., 2005; Покинь-Череда Г.Д., 2013; Пономаренко Г.Н., 2015; Шишкин А.А. и др., 2019; Юрку К.А., 2021; Chung B., Wiley J.P., 2002; Wang C.-J., 2012).

Кроме этого, широко реализуемым в медицинской практике направлением биоакустики является также виброакустическая терапия – вид звуковой терапии, при котором используются низкочастотные синусоидальные колебания в диапазоне 30-120 Гц, основным воздействием которой на организм является вазодилатация, усиление процессов возбуждения и оказание трофо-стимулирующего эффекта (Пономаренко Г.Н., Турковский И.И., 2006; Сабиров Д.М. и др., 2021; Hooper J., 2001).

Исследования последних десятилетий показали, что низкочастотные акустические колебания в определенных условиях оказывают положительное влияние на дыхательную систему экспериментальных животных и человека, обуславливая обратимые изменения воздушности легких в зависимости от параметров акустического воздействия (частоты и

уровня звукового давления) (Пономаренко Г.Н., 1993; Самойлов В.О. и др., 1994; Измеров Н.Ф. и др., 1998; Ахметзянов И.М. и др., 2003; Зинкин В.Н. и др., 2011; Драган С.П., 2013).

При этом установлено, что наиболее выраженный эффект увеличения жизненной емкости легких животных и человека при воздействии высокоинтенсивных звуков низкой частоты на дыхательную систему связан с открытием резервных альвеол легочной ткани за счет воздействия на них звуковыми волнами на резонансных частотах бронхолегочного тракта (Богомолов А.В., Драган С.П., 2015), а теоретическое обоснование возникновения этого эффекта может быть основано на модельных представлениях о дыхательной системе как резонансном звукопоглотителе типа резонатора Гельмгольца (Драган С.П., Лебедева И.В., 1994, 1998).

Исходя из этих представлений, для определения резонансных частот бронхолегочного тракта, в настоящее время проведено математическое обоснование и разработан метод акустической импедансометрии дыхательного тракта (Богомолов А.В., Драган С.П., 2015; Драган С.П. и др., 2017), основанный на модифицированном методе двух микрофонов, позволяющий определять резонансные частоты и индивидуальные коэффициенты поглощения звука в широком диапазоне частот (Драган С.П., Лебедева И.В., 1988).

На основании этих научно-методических предпосылок была сформулирована **гипотеза исследования** – повышение функциональных резервов организма человека в ходе выполнения профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий в области спортивной и восстановительной медицины может быть достигнуто за счет повышения функциональных возможностей дыхательной системы в результате методологически определенного воздействия на респираторный тракт высокоинтенсивными звуками низкой частоты - биоакустической стимуляции дыхательной системы.

Все вышеперечисленное определило цель и задачи настоящей работы.

Цель исследования

Разработка и научное обоснование концепции повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией.

Задачи исследования

1. Провести наукометрический анализ современных немедикаментозных технологий повышения функциональных резервов дыхательной системы организма человека в спортивной медицине и клинической практике по отечественным и зарубежным базам данных.

2. Обосновать в теоретико-экспериментальных исследованиях возможность повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты.

3. Разработать аппаратно-программный комплекс биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты и провести его технические и клинические испытания как медицинского изделия.

4. Изучить механизмы повышения функциональных резервов дыхательной системы при биоакустической стимуляции высокоинтенсивными звуками низкой частоты на основе системного анализа основных показателей функционального состояния организма.

5. Обосновать и разработать методологию и методики биоакустической стимуляции дыхательной системы организма человека высокоинтенсивными звуками низкой частоты в зависимости от целевого назначения.

6. Обосновать и оценить эффективность применения биоакустической стимуляции дыхательной системы для повышения функциональных резервов организма спортсменов различных видов спорта в модельных и реальных условиях спортивной деятельности.

7. Обосновать возможность, профиль безопасности и оценить эффективность применения биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты в клинической практике при бронхолегочной патологии.

8. Разработать рекомендации по применению биоакустической стимуляции дыхательной системы в комплексе методов направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией.

9. Обосновать концепцию повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы и перспективность и возможность использования звуков индивидуально подобранной низкой частоты при разработке новых профилактических и лечебно-восстановительных технологий.

Научная новизна

Впервые как ведущий замысел, конструктивный принцип, система взглядов научно обоснована, разработана и реализована концепция повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией, включающая системно связанные между собой и вытекающие один из другого теоретические, технологические, клинико-экспериментальные и практические представления и данные о механизмах, эффектах и методиках непосредственного воздействия низкочастотных акустических колебаний индивидуально подобранной (персонализированной) частоты на дыхательную систему для целенаправленного повышения функциональных резервов организма человека.

Впервые научно обоснован, разработан и технологически реализован аппаратно-программный комплекс биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты – аппарат акустической стимуляции легких.

В работе впервые получены клинико-экспериментальные данные о влиянии физической нагрузки на частотные характеристики дыхательной системы человека, механизмах повышения функциональных резервов дыхательной системы при воздействии высокоинтенсивных звуков персонализированной низкой частоты, изменениях показателей функционального состояния человека при различных режимах биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты.

Проведены научное обоснование и разработка методологии и целевых методик применения биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния организма спортсменов различных видов спорта и в клинической практике в комплексе методов медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией.

Впервые научно обоснована и разработана технология повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции мышечной ткани высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты, и показана перспективность ее использования в спортивной и восстановительной медицине.

Научная новизна работы подтверждается также получением патентов на изобретения и полезные модели «Способ диагностики состояния дыхательного тракта», «Устройство для импедансных исследований функции внешнего дыхания», «Устройство для звуковой стимуляции дыхательной системы», «Способ повышения функциональных резервов организма», «Способ повышения интенсивности кровотока в сосудах мышечной ткани», «Средство для акустической стимуляции мышц конечности», «Акустический стимулятор кровотока в мышцах рук», «Биомеханическое устройство для акустической стимуляции мышц ног», «Акустическое устройство для стимуляции мышечной ткани конечностей» и «Биомеханическое средство для акустической стимуляции мышечной ткани конечности».

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования заключается в получении научных данных, существенно дополняющих имеющиеся представления об эффектах и механизмах воздействия низкочастотных акустических колебаний на организм человека, научно-теоретическом обосновании применения биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов организма человека в комплексе методов повышения физической работоспособности и выносливости человека при аэробных и анаэробных физических нагрузках и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией, а также в научном обосновании перспективности и возможности использования высокоинтенсивных звуков персонализированной низкой частоты в качестве преформированного фактора при разработке новых немедикаментозных технологий коррекции и реабилитации в спортивной и восстановительной медицине.

Практическая значимость

Практически реализована немедикаментозная технология повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты и показаны возможность и эффективность ее применения в комплексе методов и средств направленной персонализированной коррекции функционального состояния организма спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией.

Создан, испытан и предложен для государственной регистрации как медицинское изделие аппаратно-программный комплекс биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты, технически реализующий разработанную немедикаментозную технологию повышения функциональных резервов организма человека.

Разработаны целевые методики практического применения биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения физической работоспособности и выносливости спортсменов различных видов спорта и в клинической практике при бронхолегочной патологии.

Создан и испытан как медицинское изделие аппаратно-программный комплекс биоакустической стимуляции мышечной ткани высокоинтенсивными звуками низкой частоты и разработана методика его применения, показана перспективность использования указанных акустических колебаний в качестве основы при разработке новых методов немедикаментозной коррекции функционального состояния и медицинской реабилитации человека (спортсмена, пациента) в спортивной и восстановительной медицине.

Методология и методы исследования

Работа представляет собой системное исследование, выполненное с учётом этических норм в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» (2013) и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», введенных приказом Минздрава России от 19.06.2003 г. № 266, в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2012-2021 годах по государственному заданию в рамках пяти прикладных научно-исследовательских работ.

В исследовании приняли участие высококвалифицированные спортсмены с уровнем спортивного мастерства не ниже первого взрослого разряда, пациенты с клинически установленным диагнозом заболеваний легких и эксперты, обладавшие соответствующей квалификацией.

На основе результатов исследований по изучению механизмов и оценке эффектов воздействия низкочастотных акустических колебаний на дыхательную систему подопытных животных и человека, выполненных Г.Н. Пономаренко (1993, 2006), В.И. Свидовым (1994), И.М. Ахметзяновым (2002), В.Н. Зинкиным (2011, 2016), С.П. Драганом (1988, 1998, 2015), А.В. Богомоловым (2015, 2018) и др., изучалась

возможность повышения функциональных резервов организма человека (спортсмена, пациента) при помощи воздействия на респираторный тракт высокоинтенсивными звуками низкой частоты и проводилось обоснование концепции использования биоакустической стимуляции дыхательной системы в качестве немедикаментозной технологии в комплексе методов и средств направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией. Проводился анализ данных, полученных при проведении рандомизированных контролируемых открытых параллельных проспективных технических и клинических испытаний, экспериментальных и клинических исследований. Использовались информативные методы измерений, диагностики и тестирования, разрешенные к применению и рекомендованные к использованию в спортивной медицине и клинической практике. Для подтверждения достоверности результатов использованы математические и статистические методы обработки данных.

Положения, выносимые на защиту

1. Стимуляция дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты с уровнем звукового давления до 130 дБ (63,2 Па) на индивидуально подобранных резонансных частотах (22-36 Гц), исходя из теоретически обоснованных и экспериментально подтвержденных концептуальных представлений о дыхательной системе как резонансном звукопоглотителе, приводит к открытию резервных альвеол и увеличению площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, т.е. к увеличению жизненной емкости легких, улучшению газообмена и, соответственно, к повышению функциональных резервов дыхательной системы организма человека.

2. Биоакустическая стимуляция дыхательной системы высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты, проводимая в соответствии с положениями обоснованной концепции повышения функциональных резервов организма человека, может быть технологически и безопасно реализована с использованием биоакустической системы, представленной в виде разработанного аппаратно-программного комплекса – аппарата акустической стимуляции легких.

3. Биоакустическая стимуляция дыхательной системы высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты, проводимая в соответствии с положениями обоснованной концепции повышения функциональных резервов организма человека по разработанным целевым методикам, позволяет за счет увеличения функциональных резервов дыхательной системы повысить функциональные резервы его организма, что приводит к повышению физической работоспособности и выносливости спортсменов при аэробных и анаэробных физических нагрузках и улучшению функции внешнего дыхания и самочувствия, повышению толерантности к физической нагрузке у больных с бронхолегочной патологией.

4. Биоакустическая стимуляция дыхательной системы высокоинтенсивными звуками персонализированной низкой частоты расширяет возможности применения и повышает эффективность комплекса методов и средств направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской

реабилитации больных с бронхолегочной патологией и может быть концептуально рекомендована в качестве немедикаментозной профилактической и лечебно-восстановительной технологии для использования в указанных целях в системе медико-биологического обеспечения спортсменов и клинической практике при бронхолегочной патологии.

Степень достоверности результатов

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается корректным планированием работы, использованием по назначению разрешенных технологий, применением метрологически аттестованного оборудования, обоснованным использованием адекватных и апробированных методов анализа значительного числа расчетных, клинико-экспериментальных и медицинских данных, полученных при обследовании 328 добровольцев-испытуемых (274 спортсменов, 38 пациентов, 16 экспертов) при помощи более 30 обоснованно выбранных информативных диагностических методов, а также применением современных методов статистической обработки с использованием принятых компьютерных программ обработки данных. Это позволило получить достоверные результаты, разработать и научно обосновать концепцию повышения функциональных резервов организма человека при помощи биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты.

Апробация работы

Результаты проведённых исследований доложены и получили одобрение на заседании Ученого совета ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Москва, 21 июня 2018 г.), Международном научном конгрессе XVIII Всероссийского форума «Здравница-2018» (Кисловодск, 27-29 мая 2018 г.), XII Международной научной конференции (заочной) «Системный анализ в медицине» (САМ 2018) (Благовещенск, 18-19 октября 2018 г.), Первой Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы физического воспитания и инноваций в спорте» (PES 2020) (Набережные Челны, 24 сентября 2020 г.), XVII научно-практической межрегиональной заочной конференции «Биомедицина и биомоделирование» (Московская область, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, 26-27 мая 2021 г.), Международном научном конгрессе XX юбилейного Всероссийского форума «Здравница-2021» (Москва, 15-17 июня 2021 г.), Всероссийской межведомственной научно-практической конференции «Прикладные вопросы военной медицины» (Санкт-Петербург, 22-23 сентября 2021 г.), Юбилейной международной научно-практической конференции «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России: 75 лет на страже здоровья людей» (Москва, 16-17 ноября 2021 г.), Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2021» (Москва, 9-10 декабря 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Безопасный спорт-2022» (Санкт-Петербург, 12-13 мая 2022 г.).

Внедрение результатов в практику

Основные результаты работы были использованы при разработке утвержденных на федеральном уровне методических рекомендаций:

Методические рекомендации по применению биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов органов дыхания и профилактики бронхоспазма: методические рекомендации, МР ФМБА России 69-2017 / А.С. Самойлов, Г.Г. Ерофеев, И.А. Берзин, С.П. Драган, С.М. Разинкин [и др.]. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2017. - 20 с.;

Методические рекомендации по применению акустической стимуляции легких в комплексе мероприятий медицинской реабилитации пациентов при диагнозе «Другая хроническая обструктивная легочная болезнь»: методические рекомендации / А.С. Самойлов, А.С. Радилов, С.М. Разинкин, С.П. Драган, Г.Г. Ерофеев [и др.]. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. - 24 с.

Разработанная технология в настоящее время практически используется при проведении профилактических и лечебно-восстановительных мероприятий у спортсменов и пациентов в Центре спортивной медицины и реабилитации ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва), Центре прикладных проблем токсикологии и фармакологии ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России (г. Санкт-Петербург), Филиале «Клинический санаторий «Волга» ФГБУ «СКК «Приволжский» Минобороны России (г. Самара).

Личный вклад автора

Автором самостоятельно обоснованы и определены основные направления исследований, сформулированы цель и задачи работы, выполнен контент-анализ и аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы, разработаны основные требования к разрабатываемой технологии, обоснованы подходы к методическому обеспечению исследования, выбору методов его проведения и анализа полученных данных. Получены, обобщены, проанализированы и интерпретированы результаты исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практические рекомендации по использованию разработанной технологии в спортивной и восстановительной медицине. Вклад автора является определяющим в непосредственном выполнении всех этапов данного научного исследования.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертационное исследование включает исследование механизмов действия, критериев эффективности и безопасности применения высокоинтенсивных звуков низкой частоты в качестве немедикаментозного лечебного фактора с целью повышения функциональных резервов организма человека (спортсмена, пациента) в процессе спортивной деятельности и медицинской реабилитации и разработку новых профилактических и лечебно-восстановительных технологий для медико-биологического обеспечения спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации пациентов с бронхолегочной патологией, что соответствует пунктам 2 и 6 паспорта специальности 3.1.33 «Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия».

Публикации

Результаты и положения данного диссертационного исследования освещены в 37 печатных работах, в том числе в 1 монографии, 10 патентах на изобретения и полезные модели, 2 методических рекомендациях, 16 печатных работах в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, перспектив дальнейшей разработки темы, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 337 страницах машинописного текста, диссертация иллюстрирована 68 таблицами и 83 рисунками. Библиографический указатель содержит 342 источника литературы, в том числе 272 отечественных и 70 зарубежных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на базе ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва), ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России (г. Санкт-Петербург), Филиала «Клинический санаторий «Волга» ФГБУ «Санаторно-курортный комплекс «Приволжский» Минобороны России (г. Самара), учебно-тренировочных баз спортивных сборных команд России (г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Волгоград).

Основные направления, задачи и этапы исследования представлены на рисунке 1.

Материалы исследования получены при обследовании 328 добровольцев-испытуемых (274 спортсменов, 38 пациентов, 16 экспертов), участвовавших в клинических испытаниях аппаратно-программного комплекса биоакустической стимуляции дыхательной системы (АПК БСДС) – 35 спортсменов; клинико-экспериментальных исследованиях по разработке и обоснованию методики биоакустической стимуляции дыхательной системы (БСДС) – 7 экспертов и 40 спортсменов; оценке эффективности применения БСДС для повышения физической работоспособности и выносливости спортсменов – 58 спортсменов; оценке эффективности БСДС при практическом применении в спортивной деятельности – 45 спортсменов; разработке рекомендаций по применению БСДС в спортивной медицине – 70 спортсменов; обоснованию возможности и оценке эффективности применения БСДС при бронхолегочной патологии – 8 экспертов и 38 пациентов; обоснованию и разработке биоакустической стимуляции мышечной ткани (БАС МТ) – 1 эксперт и 26 спортсменов.

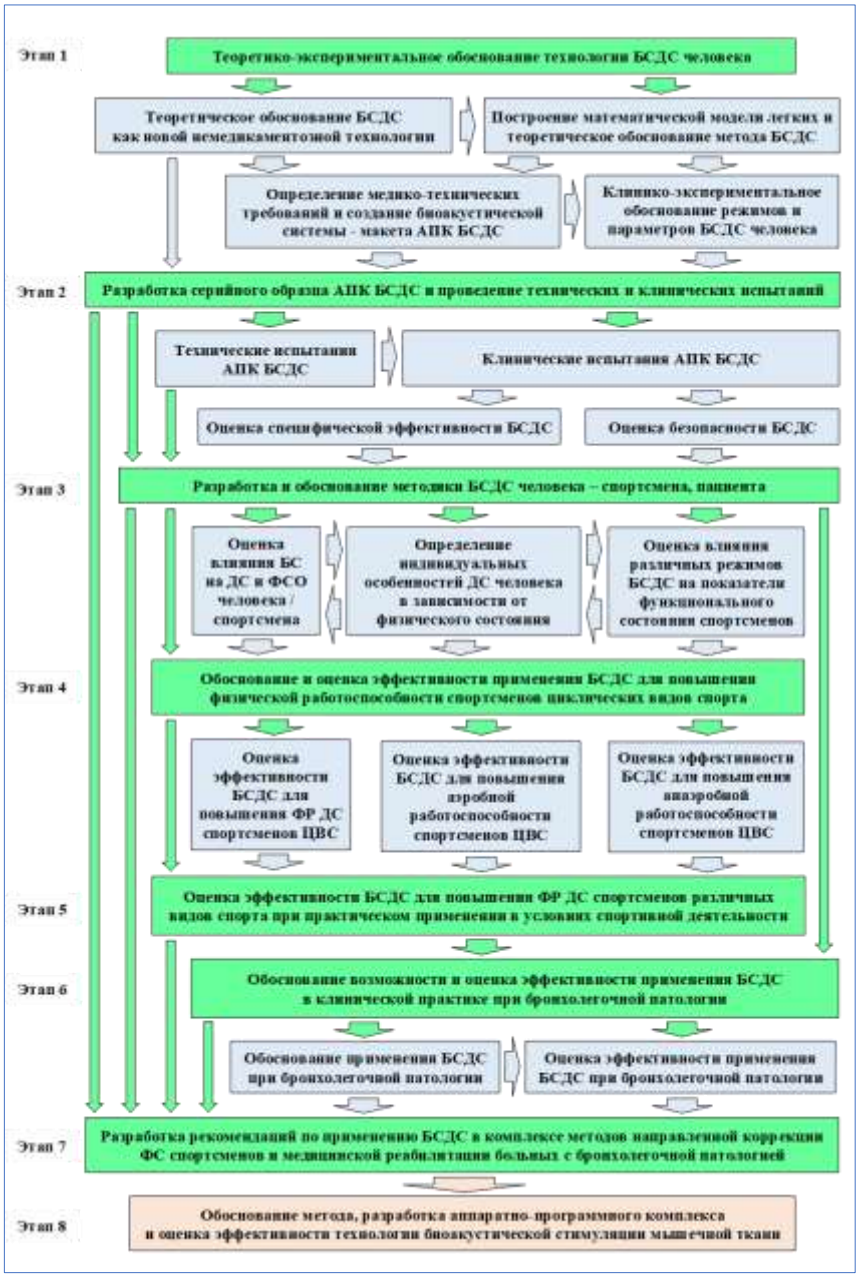


Рисунок 1 – Основные направления, задачи и этапы исследования (блок-схема)

При этом критериями включения в исследование являлись отсутствие у добровольцев-испытуемых медицинских противопоказаний к участию в исследовании; письменное информированное согласие спортсмена/пациента/эксперта на участие в исследовании; возраст спортсмена/пациента - от 18 до 65 лет; для спортсменов - спортивный разряд не ниже I взрослого и одинаковый перечень проводимых коррекционных мероприятий; для пациентов - объективно установленный диагноз заболевания и одинаковый перечень проводимых реабилитационных мероприятий; для эксперта – наличие соответствующей квалификации и опыта в области исследования.

При проведении исследования использовались теоретические методы, методы структурной диагностики (антропометрия, оценка сегментарного анализа суставов, оценка компонентного состава конечности); клинико-лабораторные методы (общий анализ крови, общий анализ мочи, биохимический анализ крови, оценка гормонального

статуса, пульсоксиметрия, термометрия); методы функциональной диагностики (метод акустической импедансометрии дыхательного тракта, спирометрия, электрокардиография, компрессионная осциллометрия, оценка вариабельности сердечного ритма, динамическая кистевая динамометрия, биоимпедансометрия, регистрация показателей микроциркуляции, оценка физической работоспособности при тестировании на беговой дорожке и велоэргометре, оценка скоростно-силовых характеристик мышц на работизированном комплексе); психодиагностические методы (оценка субъективного состояния, опросник «САН», опросник посттравматического роста, миссисипская шкала посттравматического стрессового расстройства, биоэлектрография, методика оценки реакции выбора из 1/2/3 альтернатив); математические методы (метод математического моделирования, общепринятые статистические методы); методы технических испытаний и др. Всего использовано более 30 различных методов. Описание этих методов, использованные при этом технические средства и регистрируемые и оцениваемые с их помощью показатели приведены по мере представления результатов исследования в соответствующих главах диссертации.

Статистическая обработка всех полученных в исследовании данных проводилась с применением программы Statistica 10.0. Сравнение значений оцениваемых показателей измерений и состояния добровольцев-испытуемых до и после курса проводимых мероприятий исследования проводили с применением параметрических и непараметрических критериев для зависимых выборок. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования и их обсуждение представлены в восьми главах и заключении диссертации.

Первая глава диссертации посвящена теоретико-экспериментальному обоснованию БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты.

Представлены результаты наукометрического анализа доступных сведений, содержащихся в отечественных и зарубежных источниках научной информации, о разрабатываемых и используемых в области восстановительной медицины, спортивной медицины, физиотерапии и курортологии профилактических и лечебно-реабилитационных немедикаментозных технологий сохранения, восстановления и повышения функциональных и адаптационных резервов организма человека, в частности, его кардио-респираторной системы, и показано, что в настоящее время в ряду указанных технологий применительно к повышению функциональных резервов дыхательной системы организма человека ведущее место занимают физические методы и средства. При этом, несмотря на широкий спектр этих существующих и обладающих доказанной эффективностью технологий, потребность в новых средствах и методах, основанных на использовании различных физических факторов, в частности, низкочастотных акустических колебаний (НЧАК), остается актуальной и ее удовлетворение в связи с современными достижениями науки и техники является целью целого ряда научных исследований и практических работ.

Представлен анализ результатов проведенных в последние десятилетия многочисленных физических и клинико-экспериментальных исследований, в том числе, собственных, по изучению влияния НЧАК на дыхательную систему организма экспериментальных животных и человека и на основании выявленных научно-методических предпосылок определены основные этапы, направления и задачи разработки и научного обоснования концепции повышения функциональных резервов организма человека при помощи БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией (рисунок 1).

В целях теоретического обоснования возможности повышения функциональных резервов дыхательной системы человека при воздействии высокоинтенсивных звуков низкой частоты, исходя из модельных представлений о дыхательной системе как резонансном звукопоглотителе, построена, рассмотрена и представлена математическая модель легкого в виде резонатора Гельмгольца сложной формы, в рамках которой определено, что общий объём лёгких (глубина воздухоносных путей вплоть до альвеол) определяет реактивную компоненту импеданса дыхательной системы, а геометрические характеристики устройства сочленения волновода с ротовой полостью (загубник) и воздухоносных путей определяют его активную компоненту, т.е. импеданс дыхательной системы равен сумме импедансов загубника и воздушного промежутка, образованного всеми воздухоносными путями дыхательного тракта.

Исходя из указанных положений, было определено, что импеданс загубника $Z_п$ определяется как $Z_n = R_1 + i\omega \cdot M_1$, $R_1 = \frac{R}{\rho \cdot c}$, $M_1 = \frac{M}{\rho \cdot c}$, где: ρ - плотность воздуха, с - скорость звука в воздухе, M - соколеблющаяся масса воздуха в воздухоносных путях; а импеданс воздушного слоя «суммарная ёмкость лёгких - длина воздухоносных путей L» $Z_в$ представляет собой реактивность упругого типа $Z_в = -j \cdot ctg(kL)$, где: k = ω/c - волновое число, ω - циклическая частота звука (ω = 2πf), f - частота звуковых колебаний; нормированный импеданс дыхательной системы Z_1 равен $Z_1 = R_1 + i \cdot (\omega \cdot M_1 - ctg(kL))$.

При обозначении реактивной компоненты импеданса Y_1 как $Y_1 = \omega \cdot M_1 - ctg(kL)$ импеданс дыхательной системы Z_1 равен $Z_1 = R_1 + iY_1$. В этих обозначениях коэффициент поглощения звука дыхательной системой α имеет вид $\alpha = \frac{4R}{(R_1+1)^2 + Y_1^2}$.

Максимальное поглощение акустических колебаний в резонансных системах, как известно, регистрируется на резонансной частоте при $Y_1 = 0$, когда $R_1 \approx 1$. При этом условие $R_1 \approx 1$ выполняется при оптимальном значении коэффициента перфорации (соотношение площади поперечного сечения загубника и волновода), а условие $Y_1 = 0$ выполняется, когда положительный реактанс воздухоносных путей скомпенсирован отрицательным реактансом воздушного промежутка, т.е. $\omega M_1 = ctg(kL)$.

Из этого следует, что на частоте резонанса достигается максимальное согласование между соколеблющейся массой воздуха в воздухоносных путях и импедансом воздушной

среды, образованным упругостью объёма воздухоносных путей лёгких, а воздействие на дыхательную систему высокоинтенсивными звуками на резонансных частотах, когда сопротивление минимально ($R_1 \approx 1$ и $Y_1 = 0$), обеспечивает прохождение звукового давления во все воздухоносные пути и, как следствие, изменение градиента давления между лёгкими и плевральной полостью, что способствует пропорциональному увеличению жизненной ёмкости лёгких (ЖЕЛ) за счёт открытия резервных альвеол и увеличения диаметра бронхиол. Исходя из этого, при воздействии падающей волны с УЗД 130 дБ (63,2 Па) на входе респираторного тракта изменение градиента давления между лёгкими и плевральной полостью составит 4-16% и, следовательно, в этом случае можно ожидать пропорционального увеличения ЖЕЛ.

Из указанного следует, во-первых, что вид частотной зависимости резистанса (активной компоненты импеданса дыхательной системы) может быть использован в качестве диагностического критерия при оценке состояния дыхательного тракта (при сужении воздухоносных путей происходит вязкостное поглощение звуковой волны и резистанс от частоты не зависит); во-вторых, что увеличение ЖЕЛ за счет открытия резервных альвеол и/или увеличения диаметра бронхиол можно достичь при воздействии высокоинтенсивных звуков низкой частоты с уровнем звукового давления до 130 дБ (63,2 Па) на резонансных (индивидуально подобранных) частотах (22-36 Гц), когда сопротивление минимально, давление в падающей волне с небольшим затуханием переносится по воздушным каналам на всю глубину воздушной полости и градиент давления между легкими и плевральной полостью составляет ≈ 10 %.

На основании полученных результатов, во-первых, были обоснованы и запатентованы способ диагностики состояния дыхательного тракта (RU 2572750 C1, 20.01.2016 г.) и устройство для импедансных исследований функции внешнего дыхания (RU 148484 U1, 10.12.2014 г.), а, во-вторых, были сформулированы медико-технические требования к биоакустической системе, обеспечивающей необходимое для увеличения ЖЕЛ воздействие звуков низкой частоты на дыхательную систему человека, и предложено и запатентовано устройство для звуковой стимуляции дыхательной системы (RU 154260 U1, 20.08.2015 г.), технически реализующее данную систему.

Указанная биоакустическая система была технически реализована в виде макетного образца АПК БСДС (рисунок 2) и с его помощью было проведено клинико-экспериментальное обоснование режимов и параметров БСДС человека.

Результаты клинико-экспериментального исследования показали, что применение шестикратного биоакустического воздействия сканирующим тональным сигналом с УЗД 130 дБ в диапазоне частот 22-36 Гц (6 сеансов по 3 трехминутных воздействия с интервалом 1 мин через 1 день) приводит к изменениям акустических показателей дыхательного тракта у добровольцев-испытуемых, свидетельствующим об открытии резервных альвеол и увеличении площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, т.е. были убедительно подтверждены ранее определенные теоретические положения о стимулирующем воздействии высокоинтенсивных акустических колебаний низкой частоты на дыхательную систему человека.



Рисунок 2 – Биоакустическая система – макет АПК БСДС

Во **второй главе** диссертации представлены этапы разработки, структура, состав и методика использования АПК БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты, а также результаты его технических и клинических испытаний в целях государственной регистрации как медицинского изделия.

Разработка АПК БСДС включала четыре этапа:

первый этап (2012-2013 гг.) – разработка макета АПК БСДС, реализующего теоретически обоснованную биоакустическую систему (Рисунок 2);

второй этап (2013-2014 гг.) – создание мобильного макета АПК БСДС, в котором был автоматизирован процесс определения резонансных частот дыхательного тракта испытуемого (пациента) и автоматизирована процедура синхронизации его ритма дыхания с фазами сканирующего сигнала (рисунок 3А);

третий этап (2015 г.) – создание модернизированного более мобильного макета АПК БСДС (рисунок 3Б);

четвертый этап (2016-2019 гг.) - разработка и изготовление серийного образца АПК БСДС - аппарата акустической стимуляции легких по ТУ 26.60.12002-18954585-2019 (рисунок 3В – вариант с блоком управления - прибором «Стимул»; рисунок 3Г - вариант с компьютером - планшетом).

Разработанный в конечном итоге серийный образец АПК БСДС - аппарата акустической стимуляции легких по ТУ 26.60.12002-18954585-2019 структурно включает блок акустического волновода-интерферометра, один конец которого оборудован открытой трубкой для герметичного сочленения с загубником, а другой конец оборудован громкоговорителем, установленным в сабвуфер с подключенным конусообразным концентратором звука, причем в двух точках боковой поверхности волновода установлены измерительные микрофоны, соединенные через аналого-цифровой преобразователь с вычислителем, к которому подключено сигнальное табло; систему управления интерферометром - переносной компьютер (ноутбук, планшет) с лицензионным программным обеспечением и платой цифро-аналогового преобразователя и аналого-цифрового преобразователя для управления режимами формирования звуковых колебаний в волноводе интерферометра и для регистрации и ввода измерительных каналов; программное обеспечение комплекса, включающее программное обеспечение формирования и регистрации акустических сигналов, формирования базы данных и графического изображения.


А

Б

В

Г

Рисунок 3 – АПК БСДС, созданные на 2-4 этапах разработки

В ходе проведенных работ было определено, что БСДС при помощи созданного АПК должна проводиться в соответствии с технической процедурой, включающей подготовительный (включение АПК; установление амплитудных, частотных и временных параметров режима, реализуемого при проведении БСДС) и исполнительный (размещение спортсмена/пациента перед АПК; инструктаж спортсмена/пациента; проведение БСДС в соответствии с определенным режимом; контроль специалистом, проводящим БСДС, состояния спортсмена/пациента и правильности чередования им фаз дыхания; выполнение завершающих БСДС технических процедур) этапы.

Технические испытания серийного образца АПК БСДС - аппарата акустической стимуляции легких по ТУ 26.60.12002-18954585-2019 с принадлежностями на соответствие требованиям ГОСТ 32736, ГОСТ 23170, ГОСТ 9.014, ГОСТ Р 50267.0, ГОСТ Р МЭК 60601-1 и др. показали, что указанный аппарат соответствует требованиям нормативной документации, технической и эксплуатационной документации разработчика (производителя), конструктивно адаптирован к заданным условиям эксплуатации и транспортировки, обеспечивает необходимую степень защиты персонала и пациентов в соответствии с требованиями нормативной документации .

В результате клинических испытаний АПК БСДС, которые включали исследования по оценке влияния БСДС, реализуемой при помощи указанного аппарата, на функциональные резервы дыхательной системы человека по изменениям значений ЖЕЛ и на показатели общего анализа крови, биохимического анализа крови (общий белок, альбумин, креатинин, мочевина, глюкоза, молочная кислота, калий, натрий, общий билирубин, неорганический фосфор, холестерин общий, триглицериды, холестерин, ЛПВП, активность АСТ, АЛТ, общая креатинфосфокиназа, общая щелочная фосфатаза), общего анализа мочи, гормонального статуса (общий тестостерон, соматотропный и тиреотропный гормоны) и антропометрические показатели (объем грудной клетки на вдохе, выдохе и в паузе), было установлено, что БСДС, реализованная аппаратом,

обуславливает значимое повышение функциональных резервов дыхательной системы организма человека, достоверно ($p<0,05$) увеличивая ЖЕЛ на 6,6-7,9 % (рисунок 4) и экскурсию грудной клетки за счет фазы выдоха (Таблица 1), не оказывая при этом негативного влияния на клинические, гематологические и биохимические показатели состояния организма.

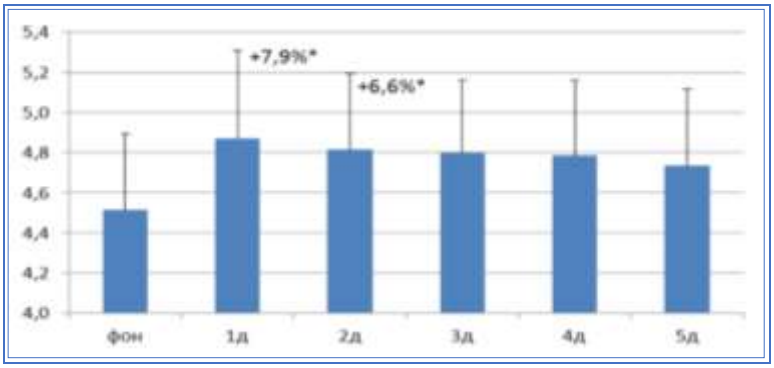


Рисунок 4 – Динамика значений ЖЕЛ (л) добровольцев-испытуемых (n = 6) после сеансов БСДС (сеанс - трехкратное воздействие по 3 минуты каждое с интервалом в 1 мин), проведенных ежедневно в течение 5 дней

На основании полученных в испытаниях результатов был сделан вывод о том, что серийный образец АПК БСДС - аппарат акустической стимуляции легких по ТУ 26.60.12002-18954585-2019 соответствует своей области медицинского назначения и может безопасно применяться в соответствии с показаниями к применению в целях повышения функциональных резервов дыхательной системы человека в спортивной и восстановительной медицине.

Таблица 1 – Средние значения антропометрических показателей у добровольцев-испытуемых экспериментальной (n = 20) и контрольной (n = 20) групп до и в 15-й день клинико-экспериментального исследования после 6 сеансов БСДС (сеанс - трехкратное воздействие по 3 мин каждое с интервалом в 1 мин) в течение 15 дней

Группа испытуемых		Контрольная группа		Экспериментальная группа	
Срок оценки / Показатели		Фон	15-й день	Фон	15-й день
Рост, см		175,80±2,47		185,6±1,79	
Вес, кг		75,58±3,89	75,71 ±3,77	76,47±1,35	76,72±1,49
Объем грудной клетки, см	Вдох	104,8±2,43	104,75±2,11	100,8±1,04	100,7±1,05
	Выдох	94,5±2,24	93,7±1,86	91,6±0,95	90,81±0,94*
	Пауза	100,01±2,327	99,2±2,27	96,2±0,94	95,9±1,14

Примечание: * - значения достоверно отличаются от фоновых значений внутри группы ($p<0.05$).

В **третьей главе** диссертации приведены результаты исследований по разработке и обоснованию методологии и целевой методики БСДС организма человека высокоинтенсивными звуками низкой частоты, которые проводились в три этапа:

этап 1 - оценка возможности использования и безопасности применения БСДС для повышения функциональных резервов дыхательной системы у людей, регулярно не занимающихся физическими упражнениями (n = 7);

этап 2 - определение индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов лыжных видов спорта в зависимости от физического состояния для определения времени (периода) использования БСДС в спортивной деятельности (n = 20);

этап 3 - оценка влияния различных режимов БСДС на показатели функционального состояния спортсменов лыжных видов спорта и выбор оптимального режима применения БСДС для повышения функциональных возможностей организма спортсмена (n = 20).

В ходе выполнения указанных этапов у добровольцев-испытуемых проводились: определение индивидуальных частотных характеристик дыхательной системы при задержке дыхания на фазе вдоха, задержке дыхания на фазе выдоха, при свободном дыхании; оценка показателей дыхательной системы (ЖЕЛ, ФЖЕЛ); оценка показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС, SpO_2); оценка физической работоспособности нагрузочным тестом на беговой дорожке «T-Ergo PRO» со ступенчато возрастающей нагрузкой «до отказа»; оценка физической работоспособности нагрузочным тестом на велоэргометре «V-Ergo PRO» со ступенчато возрастающей нагрузкой «до отказа»; оценка анаэробной работоспособности нагрузочным тестом на велоэргометре «V-Ergo PRO» (30-секундный Вингейт-тест); интегральная оценка функционального состояния и адаптационных резервов организма (АПК «Диамед-МБС»).

В исследовании по оценке возможности использования и безопасности применения БСДС для повышения функциональных резервов дыхательной системы у людей, регулярно не занимающихся физическими упражнениями (этап 1), было показано, что БСДС обуславливает увеличение ЖЕЛ в 70 % случаев на 1,5-17,9 % после первого воздействия и оказывает в целом положительное влияние на психологическое и соматическое состояние организма человека при условии правильного подбора частотного спектра и адекватных режимов воздействия звуков низкой частоты (при дыхании носом), генерируемых АПК БСДС, а также учете индивидуальных особенностей воздействия указанных акустических колебаний на дыхательную систему и индивидуальных психологических особенностей человека. При этом сеанс БСДС для каждого испытуемого состоял из 3-х воздействий по 5 мин с двумя интервалами по 2 мин. Стимуляция осуществлялась при индивидуально определенной длительности фазы вдоха/выдоха, которая составляла от 4 с («вдох-выдох»: 2 с - 2 с) до 8 с («вдох-выдох»: 4 с - 4 с), в диапазоне индивидуальных частот при УЗД 115-130 дБ при дыхании рот/нос.

В исследовании по определению индивидуальных частотных характеристик дыхательной системы и параметров ЖЕЛ, ФЖЕЛ и SpO_2 до и после физической нагрузки, проведенного с целью определения влияния физической нагрузки на ЖЕЛ, ФЖЕЛ и SpO_2, а также на показатели частотных характеристик дыхательной системы, для определения периода использования БСДС (этап 2), было показано, что ЖЕЛ, ФЖЕЛ и SpO_2 до и после физической нагрузки у мужчин и женщин в среднем по группам (n = 4-7, n = 6-8) достоверно не изменились, а выполнение однократной, 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 изменению частотных характеристик дыхательной системы спортсменов, т.е. БСДС может проводиться в любой

период спортивной деятельности в удобное для спортсмена время.

На 3-м этапе была проведена оценка влияния различных режимов БСДС на показатели функционального состояния спортсменов лыжных видов спорта и осуществлен выбор оптимального режима применения БСДС для повышения функциональных возможностей организма спортсмена-лыжника (20 спортсменов): трехкратное воздействие по 3 мин с интервалом между процедурами по 2 мин в диапазоне индивидуально подобранных частот при изменении частоты сигнала от минимального до максимального значения резонанса респираторного тракта и обратно за время дыхательного цикла при УЗД, составляющем 115 дБ – Режим 1 или 130 дБ – Режим 2.

В результате проведенных исследований было установлено, что Режим 2 БСДС оказывает, по сравнению с Режимом 1, более значимое положительное влияние на субъективное состояние и дыхательную систему спортсменов (рисунки 5 и 6), а также режим 2 БСДС оказывает более выраженное, чем Режим 1 БСДС, положительное влияние на физическую работоспособность спортсменов, характеризующееся увеличением времени выполнения физической нагрузки, снижением уровня максимального потребления кислорода (МПК), увеличением дыхательного объема и снижением максимальной частоты дыхательных движений (Таблица 2).

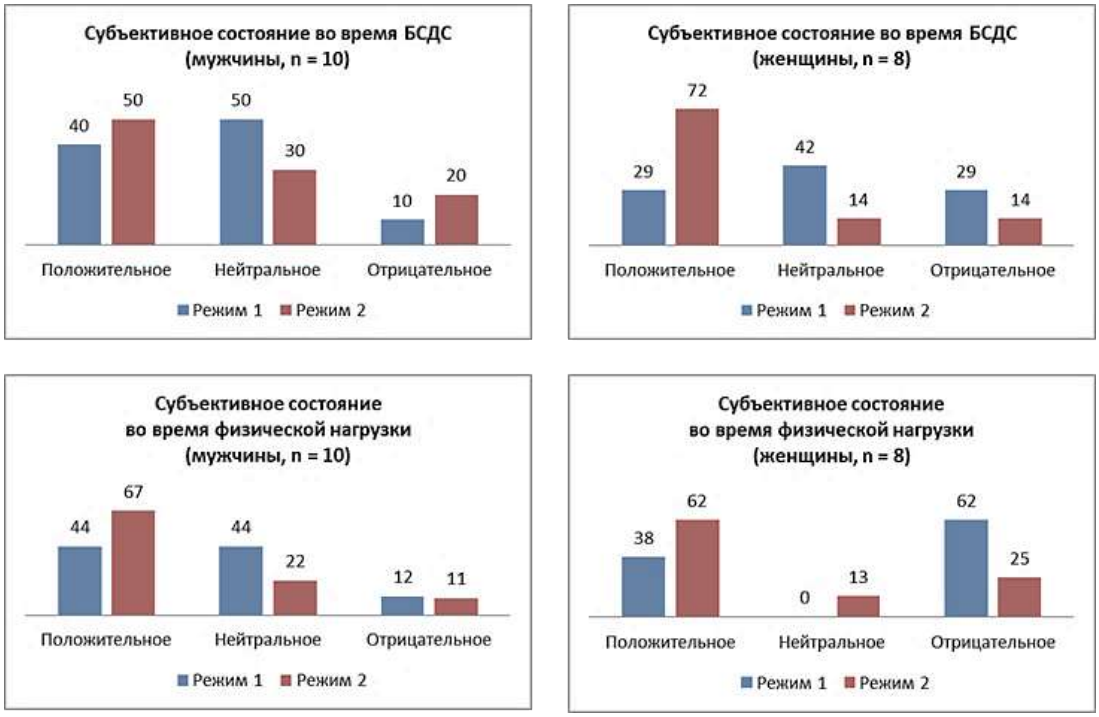


Рисунок 5 – Соотношение положительных, нейтральных и отрицательных изменений в субъективном состоянии спортсменов (мужчин и женщин) при реализации Режимов 1 и 2 БСДС при проведении БСДС и при выполнении физической нагрузки после БСДС

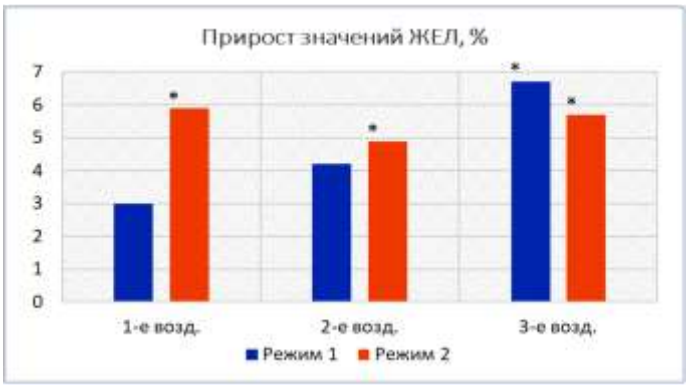


Рисунок 6 – Прирост значений ЖЕЛ у спортсменов после трех воздействий Режима 1 и Режима 2 БСДС (* - достоверные отличия от фоновых значений, $p<0,05$)

На основании полученных результатов были обоснованы и сформулированы основные положения методологии и целевой методики БСДС организма человека звуками низкой частоты – целевой методики повышения функциональных резервов дыхательной системы спортсмена/пациента при помощи БСДС.

Таблица 2 – Показатели эргоспирометрического исследования спортсменов до и после реализации Режима 1 и Режима 2 БСДС

Показатели	Контроль (Фон)	Режим 1	Режим 2
Мужчины			
Время нагрузки, мин:сек	17:03	17:36	17:40
Время ПАНО, мин:сек	14:29	12:30	12:44
МПК, мл/мин/кг	59,36±2,30	53,77±2,23	53,05±2,49*
Объем легочной вентиляции, л/мин	158,5±6,7	151,0±4,5	152,8±9,8
Дыхательный объем, л	2,81±0,13	2,83±0,11	2,90±0,18
Частота дыхания, $мин^{-1}$	57,0±3,0	54,1±2,8	53,1±3,5*
ЧСС, уд/мин	182,5±4,4	187,9±1,8	186,1±1,6
Женщины			
Время нагрузки, мин:сек	12:51	13:21	13:44
Время ПАНО, мин:сек	11:10	09:29	10:10
МПК, мл/мин/кг	50,15±1,82	46,28±1,88*	46,92±1,53
Объем легочной вентиляции, л/мин	96,6±3,4	97,9±2,9	100,7±3,7
Дыхательный объем, л	1,73±0,13	1,71±0,15	1,62±0,09
Частота дыхания, $мин^{-1}$	57,1±3,1	60,7±3,7	62,7±1,9
ЧСС, уд/мин	194,6±4,4	190,9±4,7	195,6±2,8

Примечания: * - значения достоверно отличаются от фона внутри группы ($p<0,05$).

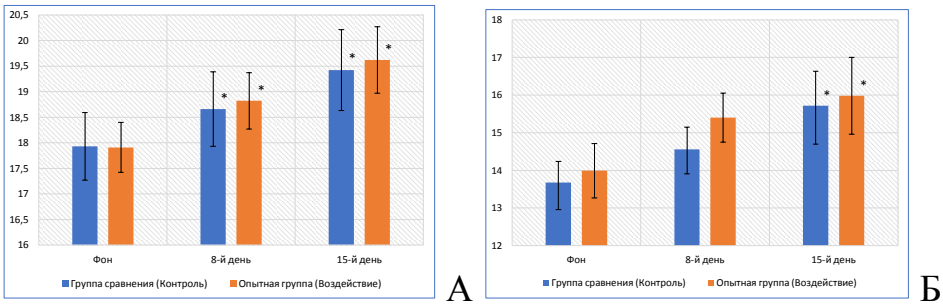
Указанные положения включали предназначение методики; основные показания и противопоказания к применению БСДС; описание технического средства, позволяющего адекватно требованиям нормативной и эксплуатационной документации безопасно и достаточно эффективно проводить БСДС; техническую процедуру проведения сеанса БСДС при помощи технического средства; описание и порядок проведения курса и сеансов БСДС, рекомендуемых к назначению спортсменам/пациентам, включая амплитудно-временные параметры акустической стимуляции в процессе отдельных сеансов проводимого курса; содержание и порядок обследования спортсмена/пациента

для определения его состояния до и после сеанса и в целом курса БСДС.

На основе указанных методических положений был предложен и запатентован способ повышения функциональных резервов организма (RU 2587970 C1, 27.06.2016 г.).

Глава 4 диссертации содержит обоснование и оценку эффективности применения БСДС по разработанной целевой методике для повышения физической (аэробной и анаэробной) работоспособности и выносливости спортсменов циклических видов спорта. При этом оценка влияния БСДС на физическую (аэробную и анаэробную) работоспособность спортсменов циклических видов спорта проводилась по изменениям после трех и шести, двух и четырех, одного сеансов БСДС основных показателей работоспособности спортсмена при выполнении теста на беговой дорожке со ступенчато возрастающей нагрузкой «до отказа» и теста на велоэргометре (30-сек. Вингейт-тест).

В результате исследований было установлено, что после одного, двух, трех, четырех и шести сеансов БСДС у спортсменов наблюдается повышение аэробной работоспособности, характеризующееся положительным и достоверным ($p<0,05$) изменением времени переносимости нагрузки на 29 %, времени наступления ПАНО на 5-15 %, скорости выведения CO_2 на момент ПАНО на 3-15 %, дыхательного эквивалента для CO_2 на 3-8 %, максимального кислородного долга на 20-36 % (Рисунки 7-9).



А Б

Рисунок 7 - Время выполнения нагрузки (мин) (А) и время наступления ПАНО (мин) (Б) у спортсменов опытной группы (n = 10) и группы сравнения (n = 10) после 3-х (8-й день) и 6-и (15-й день) сеансов БСДС

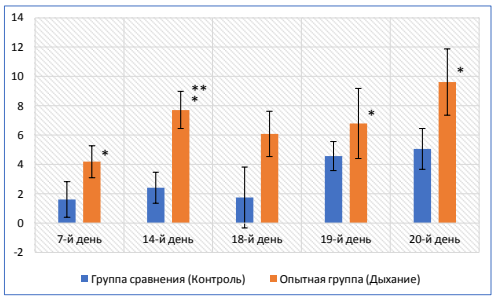


Рисунок 8 – Прирост времени выполнения нагрузки (%) после 2-х (7-й день) и 4-х (14-й день) сеансов БСДС, а также через 5 (18-й день), 6 (19-й день) и 7 (20-й день) дней после курса БСДС

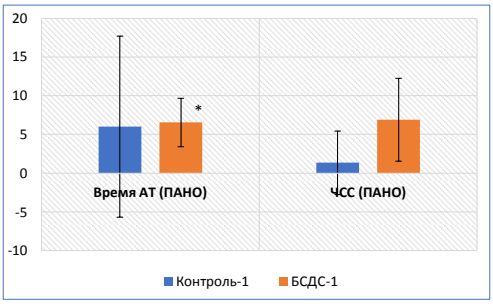
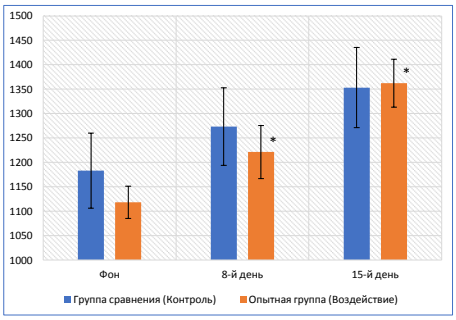


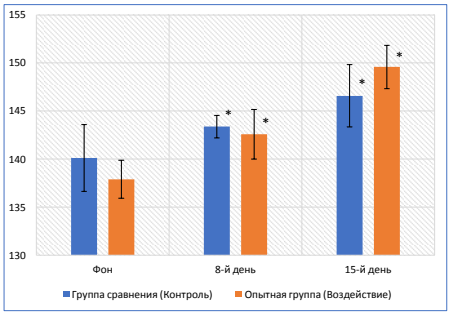
Рисунок 9 – Прирост времени достижения и ЧСС анаэробного порога (%) через 40-50 мин после одного сеанса БСДС (БСДС-1)

После одного, двух, трех, четырех и шести сеансов БСДС также наблюдается повышение анаэробной работоспособности, характеризующееся положительным и достоверным ($p<0,05$) изменением пиковой мощности (на 9-37 %), средней мощности (на 2-33 %), общей работы (на 2-3 %), максимальной скорости вращения (на 3-8 %), времени достижения пиковой мощности (на 31-71 %), максимального кислородного долга (на 35-43 %) (Рисунки 10-12).

Вывод о положительном влиянии БСДС на физическую работоспособность спортсменов лыжных (циклических) видов спорта был подтвержден результатами анализа динамики интегральной оценки (балл) результатов нагрузочного тестирования спортсменов опытной группы и группы сравнения по совокупности двух использованных методик физического нагружения в процессе проведения исследования: после трех (к 8-му дню исследования) и шести (к 15-му дню исследования) сеансов БСДС значение интегральной оценки у спортсменов опытной группы достоверно ($p<0,05$) увеличилось и составило 3,75 и 3,79 балла, соответственно, а в группе сравнения - после трех сеансов БСДС значение осталось практически без изменений и составило 3,56 балла при исходном значении 3,53 балла и после шести сеансов БСДС достоверно ($p<0,05$) увеличилось и составило 3,74 балла, но не достигло итогового значения опытной группы.



А



Б

Рисунок 10 – Пиковая мощность (Ватт) (А) и максимальная скорость вращения (1/мин) (Б) у спортсменов опытной группы (n = 10) и группы сравнения (n = 10) после 3-х (8-й день) и 6-и (15-й день) сеансов БСДС

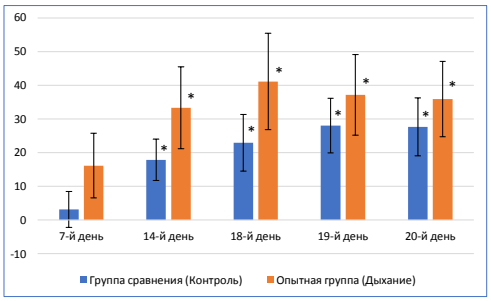


Рисунок 11 – Прирост пиковой мощности (%) после 2-х (7-й день) и 4-х (14-й день) сеансов БСДС, а также через 5 (18-й день), 6 (19-й день) и 7 (20-й день) дней после курса БСДС

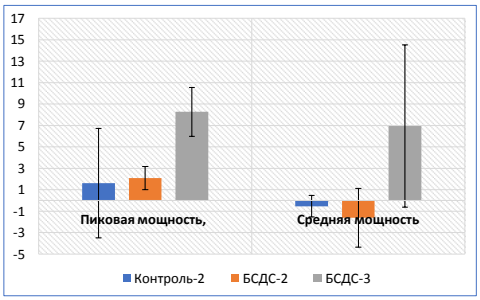


Рисунок 12 – Изменения значений пиковой и средней мощности (%) после одного сеанса БСДС (БСДС-2 – через 40-50 мин после БСДС, БСДС-3 – через 1 сутки после БСДС)

По совокупности всех полученных данных было определено, что БСДС значимо повышает функциональные резервы дыхательной системы спортсменов циклических видов спорта, вызывая у них не менее чем в 70 % случаев достоверное ($p<0,05$) и достаточно длительное (до трех недель) увеличение ЖЕЛ на 5-15 %, улучшение субъективного состояния в 90-100 % случаев, и, судя по изменениям основных функциональных показателей работоспособности при выполнении спортсменами аэробных и анаэробных физических нагрузок, достоверное ($p<0,05$) и достаточно длительное (до 7 дней) повышение в 80-90 % случаев физической работоспособности.

В **пятой главе** диссертации представлены результаты оценки эффективности биоакустической стимуляции для повышения функциональных резервов дыхательной системы спортсменов различных видов спорта при практическом применении в реальных условиях спортивной деятельности.

В результате проведенных исследований было показано, что применение пяти сеансов БСДС (ежедневно) у 6 спортсменов-пловцов - членов сборной команды России по плаванию повысило у всех спортсменов функциональные резервы их дыхательной системы, выразившееся в достоверном ($p<0,05$) в среднем по группе увеличении ЖЕЛ и облегчении дыхания после сеансов БСДС, что способствовало повышению физической работоспособности спортсменов и результативности тренировок (Рисунок 13).

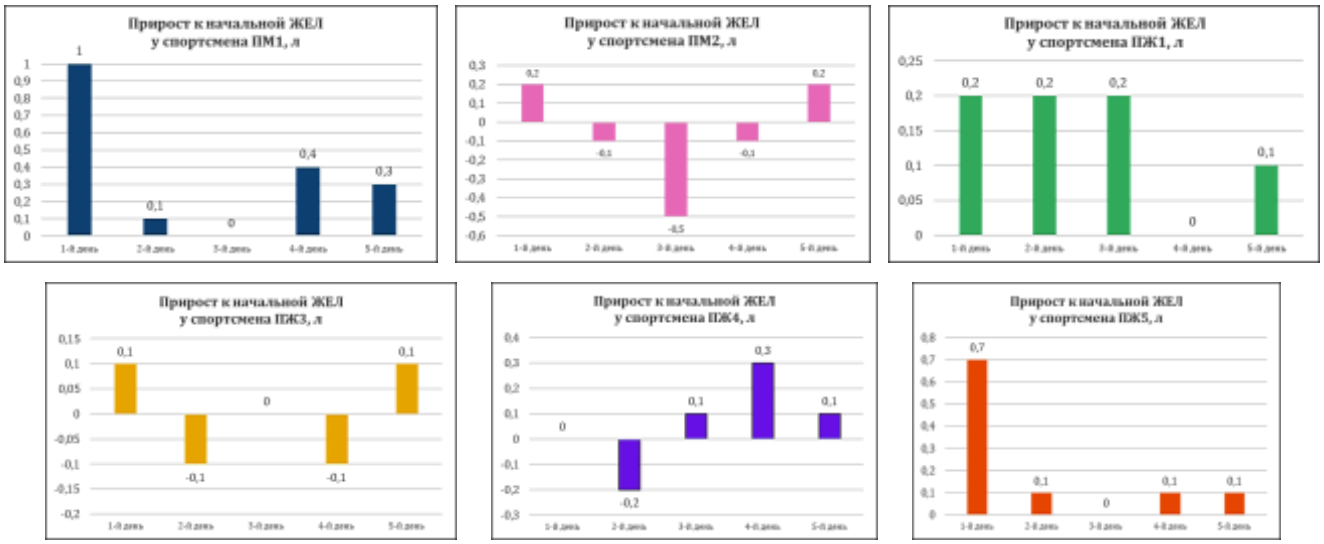
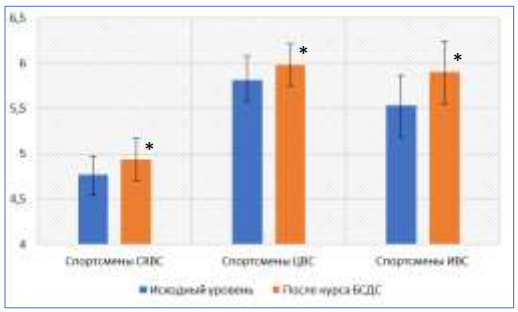


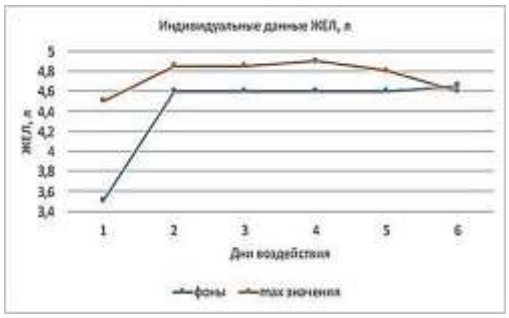
Рисунок 13 – Прирост значений ЖЕЛ (л) после сеансов БСДС у спортсменов-пловцов - членов сборной команды России по плаванию

Применение шести сеансов БСДС (ежедневно) повысило функциональные резервы дыхательной системы спортсменов сложнокоординационных, циклических и игровых видов спорта, выразившееся в достоверном ($p<0,05$) увеличении ЖЕЛ, и оказало влияние на физическую работоспособность и, как следствие, на спортивную результативность спортсменов (рисунок 14А), а применение 6 сеансов БСДС, проводимых через 2 дня оказало значимое положительное влияние на функциональное состояние дыхательной системы спортсмена-единоборца - чемпиона мира по смешанным единоборствам, его работоспособность и результативность (Рисунок 14Б).

На основании вышеизложенного представилось возможным заключить, что БСДС, проводимая при помощи АПК БСДС в соответствии с разработанной методикой в комплексе мероприятий медико-биологического обеспечения спортивной деятельности, эффективно повышает функциональные резервы дыхательной системы спортсменов различных видов спорта - циклических, сложнокоординационных и игровых, у 70-100 % из них увеличивая жизненную емкость легких в среднем на 4,1-6.7 % и облегчая дыхание.



А



Б

Рисунок 14 – Значения ЖЕЛ (л) спортсменов сложнокоординационных (n = 25), циклических (n = 10) и игровых (n = 3) видов спорта до и после курса БСДС (А) и спортсмена - чемпиона мира по смешанным единоборствам до (фон) и после 1-6 сеансов БСДС (Б)

При этом по субъективным данным, полученным от тренеров указанных спортсменов, у 80-100 % спортсменов после проведенного курса БСДС в ряде случаев значимо повысились физическая выносливость в период тренировок, что существенного сказалось на спортивной результативности в соревновательный период.

Глава 6 диссертации посвящена обоснованию возможности, безопасности и оценке эффективности применения БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты в клинической практике при бронхолегочной патологии.

Решение этой задачи включало определение оптимального режима БСДС при заболеваниях дыхательной системы различной степени тяжести (первый этап) и рандомизированное контролируемое открытое параллельное проспективное клиническое исследование с участием 28 пациентов, перенесших COVID-19 средней-тяжелой степени тяжести, осложненной внебольничной двусторонней полисегментарной пневмонией (COVID-пневмонией) средней-тяжелой степени тяжести, проходивших после выписки из стационара медицинскую реабилитацию в санатории (второй этап).

Первый этап исследования был проведен с привлечением 8 экспертов - пациентов с различными заболеваниями органов дыхания разной степени тяжести, которые тестировали 24 режима стимуляции, где уровень звукового давления был от 8 до 13 усл. ед., а диапазон резонансной частоты составлял 23-38 / 30-48 / 37-58 / 44-68 Гц. Оценивались режимы путем заполнения экспертного заключения (оценка влияния сеанса по шкале от 0 до 10 баллов, наличие позитивных/негативных ощущений) и инструментальными методами (регистрация сатурации кислорода при помощи пульсоксиметра медицинского «Armed YX300» и определение показателей внешнего дыхания (ОФВ1, ФЖЕЛ) при помощи спиротеста УСПЦ-01) до и после сеанса.

По результатам оценки влияния стимуляции на дыхание и восприятие процедуры экспертами был выявлен оптимальный для пациентов с бронхолегочной патологией

режим БСДС – частота 23-38 Гц, звуковое давление 8 усл. ед. (70% от максимального уровня стимулирующего звукового давления равного 130 дБ) (Рисунок 15), который в последующем был использован при проведении 2 этапа клинического исследования.

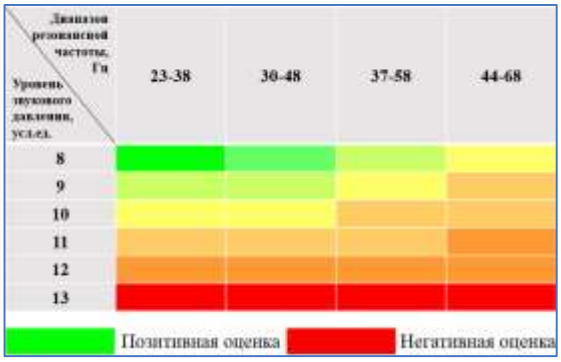


Рисунок 15 – Результаты экспертной оценки 24 режимов БСДС

Пациенты, принимавшие участие на 2 этапе клинического исследования, были случайным образом разделены на две группы: основная группа - 20 пациентов (16 женщин и 4 мужчины, средний возраст 54,1±2,4 года) и контрольная группа - 8 пациентов (4 мужчины и 4 женщины, средний возраст 55,5±4,1 года).

Пациентам основной группы в дополнение к проводимым в течение 14 дней рекомендованным реабилитационным мероприятиям (физиотерапевтические процедуры, лечебная физкультура и др.) было проведено по 5 сеансов БСДС через день, начиная с второго-третьего дня пребывания в санатории. Каждый сеанс БСДС включал по 5 процедур стимуляции длительностью 1,5 мин с интервалом между ними 30 с. Стимуляция осуществлялась при длительности фазы вдоха/выдоха $T_f = 3$ с в диапазоне частот 23-38 Гц при амплитуде полигармонического звукового сигнала, составлявшей 70 % от максимального УЗД, равного 130 дБ (63,2 Па). Пациентам контрольной группы реабилитационные мероприятия проводились в установленном порядке (без БСДС).

В результате исследования было установлено, что 70-80 % пациентов основной группы, уже начиная с первого-второго сеанса БСДС, субъективно отмечали облегчение дыхания («стало легче дышать», «свободнее дышится») и углубление вдоха и выдоха («больше вдыхаю и выдыхаю», «раздышалась»). Начиная с третьего сеанса стимуляции, в среднем по группе пациентов отмечалось достоверное ($p<0,05$) по сравнению с первым сеансом повышение значений субъективной оценки пациентами эффективности процедуры. При этом после каждого сеанса стимуляции у пациентов в среднем по группе определялось достоверное ($p<0,05$) повышение SpO_2, увеличение форсированных показателей внешнего дыхания ОФВ1 и ФЖЕЛ на 1-6 % и 1-7 % от должных значений, соответственно. Достоверное ($p<0,05$) увеличение ОФВ1 и ФЖЕЛ в среднем по группе было определено после второго, четвертого и пятого сеансов БСДС. Следует отметить, что увеличение ОФВ1 и ФЖЕЛ на 3,4-12,2 % и 2,3-13,9 % от должных значений, соответственно, после второго сеанса БСДС наблюдалось у 65 % пациентов (Таблица 3).

Таблица 3 – Результаты оценки сатурации кислорода, форсированных показателей внешнего дыхания и субъективной оценки пациентами основной группы (n = 20) эффективности процедуры в ходе курса БСДС, M±m

Показатель	Номер сеанса биоакустической стимуляции									
	1 сеанс		2 сеанс		3 сеанс		4 сеанс		5 сеанс	
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
SpO_2, %	97,5 ±0,3	98,6 ±0,3*	97,0 ±0,4	98,7 ±0,3*	97,1 ±0,3	98,3 ±0,3*	97,4 ±0,3	98,6 ±0,2*	97,3 ±0,3	98,7 ±0,3*
ОФВ1, л	2,17 ±0,14	2,13 ±0,13*	2,07 ±0,11	2,20 ±0,12*	2,12 ±0,11	2,16 ±0,11	2,08 ±0,11	2,11 ±0,10	2,17 ±0,10	2,23 ±0,12*
ОФВ1, % от должного	71,52 ±3,07	70,10 ±3,09*	68,75 ±3,25	72,38 ±2,70*	70,05 ±3,05	71,58 ±2,75	68,92 ±2,87	69,99 ±2,60	71,15 ±2,78	72,94 ±3,12
ОФВ1, изменение в %	-1,41±0,47		3,63±1,24		1,53±1,43		1,07±1,07		1,79±0,85	
ФЖЕЛ, л	2,36 ±0,14	2,36 ±0,15	2,24 ±0,11	2,42 ±0,12*	2,31 ±0,12	2,40 ±0,11	2,26 ±0,12	2,32 ±0,10	2,38 ±0,11	2,44 ±0,13
ФЖЕЛ, % от должного	61,80 ±2,62	61,88 ±2,93	52,55 ±2,14	56,42 ±1,80*	53,96 ±2,04	56,48 ±1,91	52,83 ±1,98	54,37 ±1,69*	55,31 ±1,80	56,83 ±2,25
ФЖЕЛ, изменение в %	0,08±0,88		3,87±1,17		2,52±1,13		1,54±0,75		1,37±0,91	
Субъективная оценка процедуры, балл	5,7±0,2		6,1±0,3		6,1±0,3*		6,3±0,3*		6,9±0,3*	

Примечание: * - достоверно отличаются от тестирования "До" ($p < 0,05$).

После курса БСДС у пациентов основной группы достоверно ($p<0,05$) увеличились значения показателей внешнего дыхания ЖЕЛ, ОФВ1, ПСВ и MEF75 (Таблица 4).

Положительные изменения указанных показателей наблюдались у 70-80 % пациентов: увеличение ЖЕЛ на 1-45 % от должных значений было отмечено у 80 %, ОФВ1 на 4-43 % - у 70 %, ПСВ на 1-44 % - 80 %, MEF75 на 5-48 % - у 80 % пациентов. Показатель ФЖЕЛ в среднем по группе достоверно не увеличился, хотя положительные изменения на 1-39 % наблюдались у 80 % пациентов (Рисунок 16А).

У пациентов контрольной группы при проведении спирометрического исследования достоверных изменений ЖЕЛ, ОФВ1, ПСВ и MEF75 после курса реабилитационных мероприятий в среднем по группе не отмечалось (таблица 4). При этом положительные изменения показателей внешнего дыхания наблюдались у 37,5-62,5 % пациентов. Так, увеличение ЖЕЛ на 3-23 % от должных значений отмечено у 62,5 %, ОФВ1 на 3-9 % - у 50 %, ФЖЕЛ на 6-7 % - у 37,5 % пациентов, ПСВ на 1-42 % - у 62,5 %, MEF75 на 4-44 % - у 50 % пациентов (Рисунок 16Б).

При оценке психоэмоционального и соматического состояния на АПК «Диамед-МБС» у 75 % пациентов основной группы по сравнению с исходным уровнем было отмечено достоверное ($p<0,05$) уменьшение количества жалоб и у 67 % пациентов - достоверное ($p<0,05$) увеличение показателя «Психологический статус».



А


Б

Рисунок 16 – Направленность изменений значений ЖЕЛ (% от должного) у пациентов основной (А) и контрольной (Б) групп после курса реабилитационных мероприятий

Таблица 4 – Изменения показателей спирометрического исследования и сатурации кислорода до и после курса реабилитационных мероприятий у пациентов основной и контрольной групп, M±m

Показатель	Основная группа (n=20)		Контрольная группа (n=8)	
	До	После	До	После
ЖЕЛ, л	3,11±0,22	3,35±0,17*	3,18±0,40	3,42±0,44
ЖЕЛ, % от должного	91,5±4,3	98,9±3,5*	90,5±6,7	95,5±3,8
ОФВ1, л	2,27±0,17	2,48±0,16*	2,40±0,33	2,39±0,34
ОФВ1, % от должного	79,8±3,4	87,9±3,9*	82,4±6,4	81,1±4,8
ФЖЕЛ, л	2,59±0,18	2,77±0,19	2,58±0,36	2,61±0,37
ФЖЕЛ, % от должного	76,6±3,2	81,8±3,3	73,6±6,9	73,5±5,6
ПСВ, мл/мин.	329,9±27,8	389,9±26,1*	372,5±42,1	389,4±61,3
ПСВ, % от должного	77,6±4,6	92,1±3,9*	85,4±4,8	87,3±6,8
ОФВ1/ФЖЕЛ, %	88,3±2,6	89,9±1,6	93,8±2,7	92,3±2,8
ОФВ1/ФЖЕЛ, % от должного	112,5±3,2	114,8±2,0	119,6±3,4	117,9±3,4
MEF75, л/сек	4,83±0,36	5,59±0,35*	5,94±0,71	6,14±1,08
MEF75, % от должного	78,5±4,7	90,8±4,5*	92,9±6,5	93,9±10,2
MEF50, л/сек	3,42±0,28	3,77±0,30	4,31±0,53	4,13±0,55
MEF50, % от должного	83,8±6,4	92,0±6,5	101,5±4,5	97,9±8,2
MEF25, л/сек	1,70±0,23	1,66±0,15	1,94±0,32	2,03±0,27
MEF25, % от должного	106,6±13,9	108,0±10,4	121,8±16,1	131,9±19,5
Сатурация O_2, %	96,94±0,23	96,58±0,32	96,38±0,45	96,64±0,43

Примечание: * - достоверно отличаются от тестирования "До" (p <0,05).

Отмечалось достоверное (p<0,05) улучшение показателей самочувствия, активности и настроения и уменьшение выраженности ПТСР у пациентов основной группы и отсутствие достоверных изменений этих показателей у пациентов контрольной группы после курса реабилитации (Таблица 5). При этом уменьшение и увеличение выраженности ПТСР отмечалось у 70 % и 30 % пациентов основной группы и у 37,5 % и 50 % пациентов контрольной группы, соответственно.

Таблица 5 – Результаты оценки самочувствия, активности, настроения и выраженности ПТСР до и после курса медицинских реабилитационных мероприятий у пациентов основной и контрольной групп, M±m

Показатель	Основная группа (n=20)		Контрольная группа (n=8)	
	До	После	До	После
Оценка самочувствия, активности и настроения (тест «САН»)				
Самочувствие, балл	4,3±0,3	5,5±0,26*	4,3±0,57	5,0±0,35
Активность, балл	4,1±0,29	4,6±0,30	4,0±0,45	4,3±0,42
Настроение, балл	5,0±0,34	5,7±0,26*	4,9±0,47	5,4±0,33
Оценка выраженности ПТСР (Опросник посттравматического роста)				
Отношение к другим, балл	16,6±1,8	15,6±2,3	21,5±2,6	16,4±3,6
Новые возможности, балл	8,7±1,3	10,5±1,7	10,4±2,2	9,1±2,5
Сила личности, балл	9,0±1,3	9,4±1,3	8,8±2,2	10,5±2,3
Духовные изменения, балл	4,3±0,7	3,4±0,7	3,9±1,5	4,3±1,3
Повышение ценности жизни, балл	9,2±0,8	7,8±0,8	9,4±1,8	9,1±1,7
Посттравматический рост, балл	47,7±4,9	47,2±6,4	53,9±9,0	49,3±10,2
Оценка выраженности ПТСР (Миссисипская шкала, гражданский вариант)				
Выраженность ПТСР, балл	80,8±3,6	76,6±3,8*	75,0±3,6	76,1±4,7

Примечание: * - достоверно отличаются от тестирования "До" ($p < 0,05$).

Кроме этого, в основной и контрольной группах улучшились показатели точности и скорости сложения простых цифр при выполнении задачи выбора из двух альтернатив (когнитивного теста на скорость): в обеих группах после проведенной реабилитационных мероприятий по сравнению с исходным уровнем достоверно ($p<0,05$) увеличилось количество решений за минуту, достоверно ($p<0,05$) уменьшилась средняя скорость принятия решений, а также достоверно ($p<0,05$) увеличился расчетный показатель «Коэффициент надежности».

Исходя из вышеприведенных результатов, представилось возможным заключить, что применение БСДС в комплексе реабилитационных мероприятий, судя по изменениям у пациентов функциональных показателей системы дыхания и сердечно-сосудистой системы, показателей психоэмоционального и соматического состояний, выраженности посттравматических стрессовых расстройств и когнитивных возможностей, значимо повысило эффективность медицинской реабилитации в санаторно-курортном учреждении пациентов, перенесших COVID-пневмонию, и, соответственно, может быть рекомендована при лечении и медицинской (пульмонологической, легочной) реабилитации пациентов с другими острыми и хроническими заболеваниями легких, в том числе при хронической обструктивной легочной болезни.

Глава 7 диссертации посвящена разработке рекомендаций по применению БСДС в комплексе методов коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией.

На основании анализа и обобщения полученных данных о влиянии БСДС на функциональное состояние спортсменов различных видов спорта, а также результатов ее применения при медицинской реабилитации пациентов с бронхолегочной патологией, сформулированы основные положения методических рекомендаций по практическому применению БСДС в комплексе методов направленной коррекции функционального

состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации пациентов с бронхолегочной патологией, которые явились основой для разработки Методических рекомендаций по применению биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов органов дыхания и профилактики бронхоспазма (2017) и Методических рекомендаций по применению акустической стимуляции легких в комплексе мероприятий медицинской реабилитации пациентов при диагнозе «Другая хроническая обструктивная легочная болезнь» (2022), которые включают: предназначение и область применения рекомендаций; основные показания и противопоказания к применению БСДС у спортсменов/пациентов; описание технического средства, позволяющего безопасно и эффективно проводить БСДС; техническую процедуру проведения сеанса БСДС при помощи технического средства; описание и порядок проведения курса и сеансов БСДС, рекомендуемых к назначению спортсменам/пациентам, включая амплитудно-временные параметры стимуляции в процессе отдельных сеансов; содержание и порядок обследования спортсмена/пациента до и после сеанса и в целом курса БСДС; материалы (примеры) эффективного применения БСДС по назначению у спортсменов/пациентов.

Кроме этого, в главе 7 представлены результаты исследований по сравнительной оценке эффективности БСДС и различных методов повышения функциональных возможностей организма спортсмена – фармакологической поддержки спортсменов (прием продукта специализированного спортивного питания «МиоАктив Спорт») и одной из методик (техник) мануальной терапии (постизометрической миорелаксации купола диафрагмы), имевших своей целью определение роли БСДС в комплексе методов направленной коррекции функционального состояния спортсменов.

В указанных исследованиях было показано, что проведение 6 сеансов БСДС, судя по изменениям основных показателей физической работоспособности при выполнении на беговой дорожке теста «до отказа» (Рисунок 17), оказывает сравнимое с фармакологической поддержкой положительное влияние на функциональные резервы организма спортсменов, что позволило предположить, что БСДС можно использовать вместо фармакологической поддержки, особенно при необходимости получения эффекта в более ранние сроки, или в комплексе с ней для достижения выраженного эффекта повышения работоспособности спортсменов в течение всего тренировочного периода.

Постизометрическая миорелаксация купола диафрагмы по эффективности повышения функциональных резервов дыхательной системы уступала БСДС, даже при ее однократном применении, по частоте случаев увеличения ЖЕЛ, выраженности этих изменений. В тоже время, на основании полученных данных представилось возможным предположить, что совместное и/или сочетанное применение этой методики и БСДС в комплексе методов направленной коррекции функционального состояния спортсменов может обеспечить выраженное повышение функциональных резервов организма.

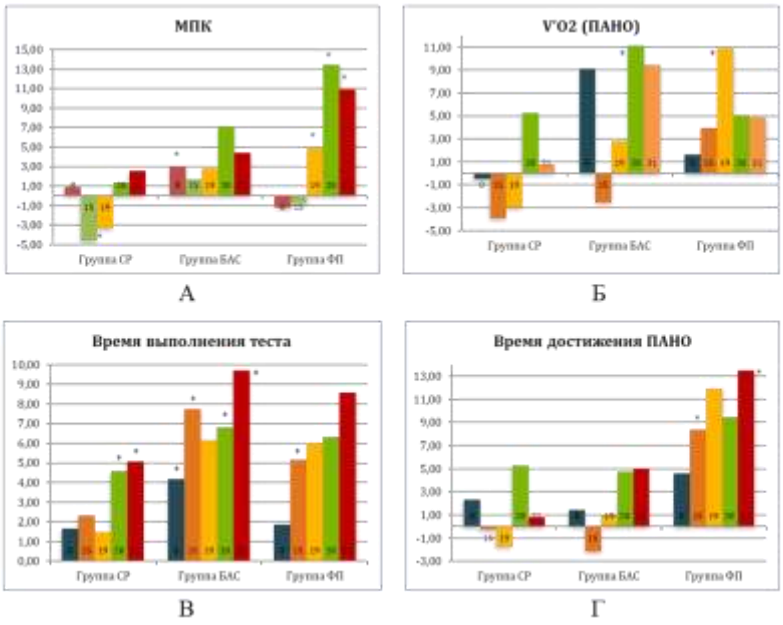


Рисунок 17 - Прирост к фону значений основных показателей физической работоспособности (%) при выполнении теста на беговой дорожке «до отказа» – максимального потребления кислорода (МПК) (А), потребления кислорода на уровне порога анаэробного обмена (V'O2 (ПАНО)) (Б), времени выполнения теста (В) и времени достижения ПАНО (Г) у спортсменов группы сравнения (Группа СР, n = 10), группы биоакустической стимуляции (Группа БАС, n = 20) и группы фармакологической поддержки (Группа ФП, n = 20)

В **восьмой главе** диссертации представлены результаты обоснования и разработки перспективной технологии повышения функциональных резервов организма человека на основе биоакустической стимуляции мышечной ткани (БАС МТ) высокоинтенсивными звуками низкой частоты.

На первом этапе исследования была подтверждена гипотеза обеспечения возможности массажа мышечной ткани конечности за счет реализации воздействия на эту ткань звукового давления через замкнутую в ограниченном объеме воздушную среду для достижения восстановительного эффекта за счет повышения интенсивности кровотока в мелких сосудах мышечной ткани конечности, для чего были изготовлены из упруго-пластичного материала на 3-D принтере латы для бедренных и голенных мышц, определены медико-технические требования и, на основе технический решений АПК БСДС, создан макет АПК БАС МТ (Рисунок 18), а также была разработана методика БАС МТ, включающая описание работы макета.



Рисунок 20 – Макет АПК БАС МТ

Исследования по оценке эффективности БАС МТ были проведены с участием 18 добровольцев-испытуемых – спортсменов различных видов спорта по показателям сегментарного анализа суставов, компонентного состава конечности, компрессионной осциллометрии, вариабельности сердечного ритма, биоимпедансометрии, биоэлектрограммы и термометрии поверхности кожных покровов конечности, а также по данным субъективной оценки спортсменами процедуры БАС МТ.

Результаты клинико-экспериментальной оценки процедуры БАС МТ показали, что БАС МТ оказала в целом позитивное влияние на функциональное состояние спортсменов. Так, у спортсменов в среднем по группе наблюдалось повышение температуры тканей в области воздействия, и, как следствие, увеличение периферического кровообращения, понижение проводимости чувствительных и периферических нервов с последующим уменьшением болевых ощущений в мышцах конечностей. Субъективно в процессе проведения БАС МТ спортсмены отмечали ее схожесть с обычным ручным массажем.

Полученные результаты позволили предположить, что БАС МТ конечностей целесообразно использовать для решения восстановительных и реабилитационных задач у спортсменов, а также предложить и запатентовать способ повышения интенсивности кровотока в сосудах мышечной ткани (RU 2658471 C1, 21.06.2018), средство для акустической стимуляции мышц конечности (RU 2672390 C1, 14.11.2018), акустический стимулятор кровотока в мышцах рук (RU 179637 U1, 21.05.2018), биомеханическое устройство для акустической стимуляции мышц ног (RU 177461 U1, 26.02.2018), акустическое устройство для стимуляции мышечной ткани конечностей (RU 177460 U1, 26.02.2018) и биомеханическое средство для акустической стимуляции мышечной ткани конечности (RU № 2679821 C1, 13.02.2019).

В ходе второго этапа исследования были проведены совершенствование созданного на первом этапе макета АПК БАС МТ в направлении создания портативного макета АПК БАС МТ, отвечающего требованиям безопасности и эргономичности, позволяющего осуществлять стимуляцию нескольких областей (мышечных массивов) организма, технические испытания созданного портативного макета АПК БАС МТ, клинико-экспериментальная и экспертная оценки реализуемой им БАС МТ.

В результате проведенных работ был создан портативный макет АПК БАС МТ, позволяющий проводить одновременно стимуляцию бедренных и голенных мышц обеих ног, а также воротниковой зоны спины, и проведены его технические испытания, в ходе которых было установлено, что при БАС на мышцы бедра, голени и воротниковой зоны будет воздействовать безопасное низкочастотное звуковое поле с УЗД ≈ 128-131 дБ при допустимом диапазоне разброса, не превышающем 3 дБ.

Клинико-экспериментальная оценка эффективности БАС МТ (частотный диапазон - от 10 до 30 Гц, время сканирования - 5 с, длительность - 10 мин), реализованной при помощи портативного АПК БАС МТ, была проведена с участием 8 спортсменов и 1-го эксперта (кандидат биологических наук, сертифицированный специалист по массажу и лечебной физкультуре, мастер спорта по спортивной акробатике): оценка эффективности однократного (5 спортсменов, 1 эксперт) и трехкратного (3 спортсмена) одновременного

комплексного воздействия БАС МТ голени, бедра и воротниковой зоны (Рисунок 19).

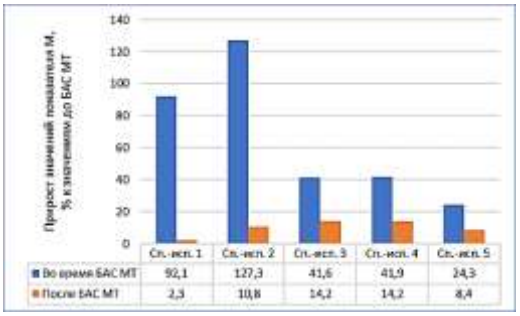


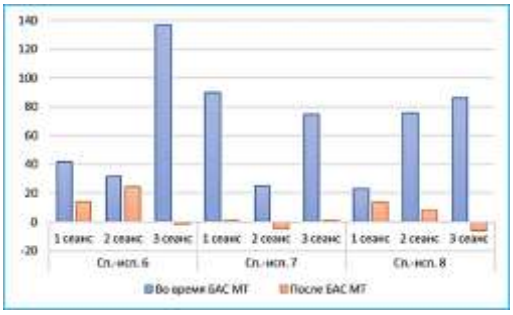
Рисунок 19 – Расположение лат и положение испытуемого в ходе исследования при комплексном одновременном проведении БАС МТ голени, бедра и воротниковой зоны при помощи портативного макета АПК БАС МТ

Эксперт выявил целый ряд положительных и, меньше, отрицательных эффектов БАС МТ и отметил универсальность метода БАС МТ и возможность его использования не только в спортивной медицине, но и в клинической практике. Рекомендовал изучить вопрос положительного влияния данного воздействия на суставы; перед проведением стимуляции проводить УЗИ сосудов нижних конечностей; рассмотреть вопрос о возрастной универсальности данного аппарата; рассмотреть вопрос о применении аппарата у пациентов с онкологией в стадии ремиссии, у послеоперационных больных, которым показаны лимфодренаж, мягкие щадящие методики. При этом у эксперта объективно было зарегистрировано локальное увеличение кровотока на бедре по показателю микроциркуляции М в 2,2 раза с 7,18 до 15,84 п.е.

При однократном и трехкратном комплексном применении БАС МТ (одновременной стимуляции мышц голени, бедра и воротниковой зоны) у спортсменов не было выявлено достоверных различий значений показателей компрессионной осциллометрии, вариабельности сердечного ритма, биоимпедансометрии и биоэлектрограммы до и после БАС МТ, что свидетельствовало о локальном воздействии стимуляции и отсутствии при этом отрицательных общих реакций организма.

В тоже время в процессе однократного применения БАС МТ у спортсменов-испытуемых 1…5 отмечалось достоверное ($p<0,05$) в среднем по группе по показателю М (величине средней перфузии крови в границах времени регистрации) увеличение на ~25-125 % регионального кровообращения (микроциркуляции) в местах наложения лат, которое сохранялось в последующие 10 мин на уровне ~ 2-15 % (рисунок 20А), а трехкратное комплексное применение БАС МТ во время всех трех сеансов обусловило у спортсменов-испытуемых 6...8 достоверное ($p<0,05$) увеличение микроциркуляции в местах наложения лат на ~ 25-135 %, которое сохранялось в последующие 10 мин на уровне ~ 1-25 %, при отсутствии отрицательного влияния на общее состояние их организма и наличии кумуляции эффекта стимуляции (Рисунок 20Б).



А


Б

Рисунок 20 – Прирост значений показателя микроциркуляции М (в % к значениям до стимуляции) во время и после БАС МТ у спортсменов 1…5 (А) и 6…8 (Б)

На основании полученных результатов представилось возможным заключить, что в настоящее время обоснована, разработана и технологически реализована новая физиотерапевтическая технология на основе БАС МТ высокоинтенсивными звуками низкой частоты, позволяющая достоверно повышать региональный кровоток (микроциркуляцию) в местах акустического воздействия, не вызывая отрицательных изменений состояния организма человека, а также сделать вывод о перспективности использования высокоинтенсивных звуков индивидуально подобранной низкой частоты в качестве преформированного фактора при разработке и реализации новых физических методов коррекции функционального состояния и медицинской реабилитации спортсмена/пациента в спортивной и восстановительной медицине, физиотерапии.

В **Заключении** диссертации представлен анализ результатов проведенного исследования, полученных при выполнении всех его восьми этапов как этапов научного обоснования концепции повышения функциональных резервов организма человека при помощи БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией, и представлена как ведущий замысел, конструктивный принцип, система взглядов указанная концепция.

Определено, что научно обоснованная, разработанная и реализованная в работе концепция, как систематизация всех идей (взглядов), выработанных для понимания направления достижения намеченной цели и определяющих замысел (стратегию действий) для решения поставленной задачи (проблемы), включает системно связанные между собой и вытекающие один из другого теоретические, технологические, клинико-экспериментальные и практические представления и данные о механизмах, эффектах и методиках непосредственного воздействия НЧАК индивидуально подобранной (персонализированной) частоты на дыхательную систему для целенаправленного повышения функциональных резервов организма человека (спортсмена, пациента) (рисунок 21).



Рисунок 21 - Концепция повышения функциональных резервов организма человека при помощи БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией (блок-схема)

ВЫВОДЫ

1. Разработка обладающих доказанной эффективностью новых немедикаментозных методов и средств сохранения, восстановления и повышения функциональных резервов организма человека, основанных на применении в качестве искусственного физического фактора низкочастотных акустических колебаний, исходя из результатов анализа современных достижений медицинской науки и практики, является в настоящее время одним из активно развиваемых и востребованных направлений развития и совершенствования системы диагностических, профилактических и лечебно-восстановительных технологий восстановительной медицины, спортивной медицины и физиотерапии.

2. Высокоинтенсивные звуки низкой частоты с уровнем звукового давления до 130 дБ (63,2 Па) на индивидуально подобранных (персонализированных) резонансных частотах (22-36 Гц), исходя из модельных представлений о дыхательной системе как резонансном звукопоглотителе типа резонатора Гельмгольца и основываясь на результатах проведенных физических и клинико-экспериментальных исследований, при непосредственном и целенаправленном воздействии на респираторный тракт приводят к открытию резервных альвеол и увеличению площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, т.е. к увеличению жизненной емкости легких, улучшению газообмена и, соответственно, к повышению функциональных резервов дыхательной системы и в целом организма человека.

3. Разработанный в ходе исследования аппаратно-программный комплекс

биоакустической стимуляции дыхательной системы – аппарат акустической стимуляции легких соответствует требованиям нормативной, технической и эксплуатационной документации, конструктивно адаптирован к заданным условиям эксплуатации и транспортировки, обеспечивает необходимую степень защиты персонала и пациентов, соответствует своей области медицинского назначения и позволяет безопасно проводить БСДС человека высокоинтенсивными звуками низкой частоты с целью восстановления и повышения функциональных резервов его организма.

4. Повышение функциональных резервов организма человека при помощи БСДС обусловлено тем, что при непосредственном и целенаправленном воздействии на респираторный тракт высокоинтенсивных звуков низкой частоты на индивидуально подобранных резонансных частотах происходит увеличение давления в альвеолах, что приводит к возрастанию градиента давления между плевральной полостью и лёгкими и, как следствие, к раскрытию резервных альвеол, и расширение диаметра дыхательных бронхиол, вследствие стимулирующего действия звуков на проприорецепторы гладких мышц, в результате чего происходит увеличение жизненной емкости легких и, как следствие, за счет увеличения площади альвеоло-капиллярного барьера и объема вентиляции, а также повышения диффузного давления в альвеолах, увеличение газообмена в легких, которое обуславливает увеличение кислородной емкости, буферных свойств крови и величины максимального потребления кислорода организмом, что, соответственно, повышает адаптацию организма к физическим нагрузкам и активизирует восстановительные процессы.

5. БСДС организма человека высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов его организма методологически должна проводиться по определенным показаниям, с учетом установленных противопоказаний и в соответствии с отработанной целевой методикой в виде курса стимуляции, состоящего в зависимости от состояния пациента (спортсмена) и решаемых при этом задач из определенного количества сеансов, включающих по три-пять процедур стимуляции, проводимых при изменении частоты тонального сигнала от минимального до максимального значения резонанса респираторного тракта и обратно за время дыхательного цикла, индивидуально определенного для пациента (спортсмена), в диапазоне индивидуально подобранных частот.

6. Курсовое применение БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты, проводимой в соответствии с разработанной целевой методикой, даже курса, состоящего из одного-трех сеансов значимо повышает функциональные резервы дыхательной системы спортсменов циклических видов спорта, вызывая у них не менее чем в 70 % случаев достоверное ($p<0,05$) и достаточно длительное (до трех недель) увеличение жизненной емкости легких на 5-15 %, улучшение субъективного состояния в 90-100 % случаев и достоверное ($p<0,05$) и достаточно длительное (до 7 дней) повышение в 80-90 % случаев физической (аэробной и анаэробной) работоспособности и выносливости.

7. БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты при практическом применении в комплексе мероприятий медико-биологического обеспечения спортивной деятельности в тренировочный период эффективно повысила функциональные резервы

дыхательной системы спортсменов циклических, сложнокоординационных и игровых видов спорта, у 70-100 % из них увеличив жизненную емкость легких в среднем на 4,1-6,7 % и по субъективным оценкам облегчив дыхание, что, по субъективным данным, полученным от тренеров указанных спортсменов, у 80-100 % спортсменов значимо повысило физическую выносливость в период тренировок и существенно сказалось на спортивной результативности в соревновательный период.

8. Проведение БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты оказывает сравнимое с фармакологической поддержкой и более выраженное по сравнению с постизометрической миорелаксацией купола диафрагмы положительное влияние на физическую работоспособность и состояние дыхательной системы спортсменов, что позволяет предположить возможность использования данной технологии вместо фармакологической поддержки и постизометрической миорелаксации купола диафрагмы, особенно при необходимости получения эффекта в более ранние сроки, или в комплексе с ними (совместно и/или сочетанно) для достижения эффекта повышения физической работоспособности и улучшения состояния дыхательной системы спортсменов в течение всего тренировочного периода.

9. Применение БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты в комплексе реабилитационных мероприятий значимо и достоверно ($p<0,05$) повысило эффективность медицинской реабилитации у 70-80 % пациентов, перенесших COVID-пневмонию, что позволяет рекомендовать данную технологию в качестве эффективной немедикаментозной (физической) технологии для включения в комплексную медицинскую реабилитацию на санаторно-курортном этапе пациентов, перенесших COVID-пневмонию, а также, исходя из схожести нарушений дыхательной функции и направленности решаемых реабилитационных задач, при лечении и медицинской (пульмонологической, легочной) реабилитации пациентов с другими заболеваниями органов дыхания.

10. Практическое применение БСДС высокоинтенсивными звуками низкой частоты как новой немедикаментозной технологии в комплексе методов направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией должно осуществляться в соответствии с разработанными и утвержденными методическими рекомендациями по применению биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов органов дыхания и профилактики бронхоспазма (2017) и методическими рекомендациями по применению акустической стимуляции легких в комплексе мероприятий медицинской реабилитации пациентов при диагнозе «Другая хроническая обструктивная легочная болезнь» (2022).

11. Разработанная физиотерапевтическая технология на основе биоакустической стимуляции мышечной ткани высокоинтенсивными звуками индивидуально подобранной низкой частоты, реализуемая при помощи созданного портативного аппаратно-программного комплекса, прошедшего технические испытания и клинико-экспериментальные исследования по оценке его применения по предназначению,

позволяет достоверно ($p<0,05$) повышать региональный кровоток (микроциркуляцию) в местах акустического воздействия, не вызывая отрицательных изменений состояния организма человека, как при однократном, так и при трехкратном комплексном применении (одновременной стимуляции мышц голени, бедра и воротниковой зоны), и после проведения целенаправленных клинических исследований может быть рекомендована для использования в спортивной медицине и клинической практике в комплексе коррекционных и реабилитационных мероприятий.

12. Научно обоснована, разработана и реализована концепция повышения функциональных резервов организма человека на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы для направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации больных с бронхолегочной патологией и показана перспективность использования высокоинтенсивных звуков индивидуально подобранной низкой частоты, непосредственно и целенаправленно воздействующих на различные органы и ткани организма, в качестве преформированного фактора при разработке и реализации новых физических методов персонализированной коррекции функционального состояния и медицинской реабилитации человека (пациента, спортсмена) в восстановительной медицине, спортивной медицине и физиотерапии.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. БСДС рекомендуется в качестве немедикаментозной технологии повышения функциональных резервов организма человека в комплексе методов и средств направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта и медицинской реабилитации пациентов при бронхолегочной патологии и должна проводиться при помощи АПК БСДС – аппарата акустической стимуляции легких по ТУ 26.60.12-002-18954585-2019.

2. БСДС должна проводиться в соответствии с технической процедурой, включающей подготовительный (включение и подготовка АПК БСДС к работе; установление амплитудных, частотных и временных параметров режима, реализуемого при проведения БСДС) и исполнительный (размещение спортсмена/пациента перед АПК; инструктаж спортсмена/пациента; проведение БСДС в соответствии с определенным режимом; контроль специалистом, проводящим БСДС, состояния спортсмена/пациента и правильности чередования им фаз дыхания; выполнение завершающих БСДС технических процедур) этапы.

3. БСДС рекомендуется в качестве немедикаментозной технологии направленной коррекции функционального состояния спортсменов различных видов спорта для повышения функциональных резервов дыхательной системы и физической работоспособности спортсменов в тренировочно-соревновательный период спортивной деятельности и после перенесенных острых заболеваний органов дыхания. Основными показаниями к применению БСДС у спортсмена является снижение функциональных резервов дыхательной системы организма в процессе профессиональной (спортивной) деятельности или после перенесенных им острых заболеваний органов дыхания, а также

повышение физической работоспособности в тренировочный период спортивной деятельности в комплексе методов направленной коррекции функционального состояния.

4. Курс БСДС, рекомендуемый к назначению спортсменам различных видов спорта для повышения функциональных резервов дыхательной системы, в зависимости от состояния спортсмена и решаемых при этом коррекционных или реабилитационных задач должен включать 1-6 сеансов, которые при повторе должны проводиться через 1-2 дня. Каждый сеанс должен включать 3 процедуры стимуляции длительностью 3 минуты с интервалом между ними 1 минута. Стимуляция должна осуществляться при длительности фазы вдоха/выдоха, индивидуально определенной для пациента (спортсмена) и составляющей 2-3 с, в диапазоне индивидуально подобранных частот 23-38 Гц при амплитуде полигармонического звукового сигнала, составлявшей 130 дБ (63,2 Па). Повторные курсы стимуляции, при необходимости, должны проводиться с интервалом 4-6 недель.

5. БСДС рекомендуется в качестве лечебно-восстановительной технологии для включения в схемы (программы) лечения и реабилитации пациентов с заболеваниями органов дыхания с целью восстановления нарушений функций внешнего дыхания, транспорта и утилизации кислорода, восстановления толерантности организма к физическим нагрузкам. Показаниями к применению БСДС у пациентов с заболеваниями органов дыхания являются нарушение механизма дыхательного акта; наличие дыхательной недостаточности I-II степени тяжести; снижение толерантности организма к физическим нагрузкам; оптимизация результатов медикаментозной терапии.

6. Курс БСДС, рекомендуемый к назначению пациентам с заболеваниями органов дыхания в комплексе мероприятий их медицинской реабилитации, должен включать 5 сеансов, которые проводятся через день. Каждый сеанс должен включать 5 процедур стимуляции длительностью 1,5 мин. с интервалом между ними 30 секунд. Стимуляция должна осуществляться при длительности фазы вдоха/выдоха $T_f = 3$ с в диапазоне частот 23-38 Гц при амплитуде полигармонического звукового сигнала, составлявшей 70 % от максимального уровня стимулирующего звукового давления равного 130 дБ (63,2 Па). Повторные курсы стимуляции, при необходимости, должны проводиться с интервалом 4-6 недель.

7. До (перед) и после сеанса БСДС специалистом, проводящим стимуляцию, должно проводиться обследование спортсмена/пациента для определения его состояния до и после воздействия, включающее опрос для выявления отклонений в состоянии здоровья, измерение ЧСС, АД, ФЖЕЛ, ОФВ1, SpO_2, а также спортсменом/пациентом должна проводиться субъективная оценка эффективности процедуры по шкале от 0 до 10 баллов, где 5 баллов - нейтрально. На основании результатов данного обследования специалистом, проводящим стимуляцию, и/или лечащим врачом должна проводиться экспресс-оценка эффективности и безопасности назначения БСДС спортсмену/пациенту, исходя из результатов которой, должно приниматься решение о продолжении (завершении) курса БСДС, назначенного спортсмену/пациенту.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перспективными направлениями разработки темы исследования являются проведение рандомизированных контролируемых открытых параллельных проспективных клинических исследований по оценке эффективности разработанных технологий повышения функциональных резервов организма человека на основе БСДС и БАС МТ при различных изменениях функционального состояния и заболеваниях человека (спортсмена, пациента) и разработка на основе результатов дополнительных исследований валидных клинических рекомендаций по применению разработанных технологий на основе БСДС и БАС МТ в совокупности с другими методами и средствами повышения функциональных резервов организма человека в комплексе профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий, реализуемых в спортивной и восстановительной медицине, а также разработка и практическая реализация новых немедикаментозных технологий коррекции функционального состояния и медицинской реабилитации человека (спортсмена, пациента), основанных на использовании низкочастотных акустических колебаний как перспективного преформированного физического фактора, для применения в спортивной и восстановительной медицине, физиотерапии и курортологии.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Драган, С. П. Обоснование предельно допустимых уровней звукового давления импульсного акустического воздействия для обеспечения условий безопасности обслуживающего персонала при испытаниях специальных средств / С. П. Драган, О. А. Григорьев, Г. Г. Ерофеев, В. Н. Зинкин [и др.] // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. - 2014. - № 11-12 (77-78). - С. 98-103.

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

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

4. Разинкин, С.М. Исследование индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от физического состояния / С. М. Разинкин, Г. Г. Ерофеев, С. П. Драган // Сборник материалов XII международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2018). Под общ. ред. В.П. Колосова. - 2018. - С. 142-144.

5. Драган, С. П. Теоретико-экспериментальное обоснование режимов биоакустической стимуляции дыхательной системы / С. П. Драган, Г. Г. Ерофеев, С. М. Разинкин // Сборник материалов XII международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2018). Под общ. ред. В.П. Колосова. - 2018. - С. 66-68.

6. Ерофеев, Г. Г. Влияние биоакустической стимуляции дыхательной системы спортсменов на жизненную емкость легких / Г. Г. Ерофеев // Исследования и практика в медицине. - 2018. - Т. 5, № 2. - С. 80-85.

7. Ерофеев, Г. Г. Исследование влияния физической нагрузки на частотные характеристики дыхательной системы у спортсменов-лыжников / Г. Г. Ерофеев, С. П. Драган, В. В. Петрова, П. А. Шулепов [и др.] // Медицинская наука и образование Урала. - 2018. - Т. 19, №1(93). - С. 96-100.

8. Брагин, М. А. Прогноз физической работоспособности спортсменов-легкоатлетов по параметрам вариабельности сердечного ритма / М. А. Брагин, Т. В. Матюшев, И. В. Федотова, Г. Г. Ерофеев [и др.] // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. - 2018. - № 8. - С. 64-70.

9. Ерофеев, Г.Г. Объективная оценка стресса на этапе апробации новых медицинских технологий / Г. Г. Ерофеев, С. М. Разинкин, С. П. Драган, В. В. Петрова [и др.] // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. - 2018. - № 4. - С. 76-84.

10. Богомолов, А. В. Математическая модель поглощения звука лёгкими при акустической стимуляции дыхательной системы / А. В. Богомолов, С. П. Драган, Г. Г. Ерофеев // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 487, № 1. - С. 97-101.

11. Bogomolov, A. V. Mathematical model of sound absorption by lungs with acoustic stimulation of the respiratory system / A. V. Bogomolov, S. P. Dragan, G. G. Erofeev // Doklady

Biochemistry and Biophysics. - 2019. - Т. 487. - № 1. - С. 247-250.

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

13. Драган, С. П. Метод акустической стимуляции дыхательной системы / С. П. Драган, С. М. Разинкин, Г. Г. Ерофеев // Медицинская техника. - 2020. - № 3. - С. 26-28.

14. Dragan, S. P. A method for acoustic stimulation of the respiratory system / S. P. Dragan, S. M. Razinkin, G. G. Erofeev // Biomedical Engineering. - 2020. - V. 54, № 3. - P. 190-193.

15. Dragan, S. An innovative technology of an athlete's organism functional reserves increase based on bioacoustical stimulation of the respiratory system / S. Dragan, A. Bogomolov, S. Razinkin, I. Berzin, G. Erofeev // BIO Web Conferences. First International Scientific-Practical Conference «Actual Issues of Physical Education and Innovation in Sports» (PES 2020). - Volume 26, 2020. - DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/ 20202600037.

16. Брагин, М. А. Опыт применения биоакустической стимуляции дыхательной системы для медицинской реабилитации в санатории пациентов после COVID-пневмонии / М. А. Брагин, Е. В. Голобородько, Г. Г. Ерофеев, К. В. Золотарева [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. - 2021. - Т. 98, № 3. - Вып. 2. - С. 52.

17. Драган, С. П. Технология повышения функциональных резервов организма на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы / С. П. Драган, С. М. Разинкин, Г. Г. Ерофеев // Биомедицина. - 2021. - Т. 17, № 3. - С. 39-47.

18. Ерофеев, Г. Г. Биоакустическая стимуляция дыхательной системы: практическое применение в спортивной и восстановительной медицине / Г. Г. Ерофеев, С. М. Разинкин, С. П. Драган // ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России: 75 лет на страже здоровья людей: Труды юбилейной международной научно-практической конференции, Москва, 16-17 ноября 2021 г. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2021. - С. 91-93.

19. Bragin, M. The Use of Bioacoustic Stimulation of the Respiratory System in Complex Medical Rehabilitation at a Health Resort Facility for Patients who have had COVID-associated Pneumonia / M. Bragin, E. Goloborodko, G. Erofeev, S. Razinkin [et al.] // Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. - 2021 Nov 21. - Vol. 9. - № B. - P. 1607-1614. - DOI: https://doi.org/ 10.3889/oamjms.2021.7207.

20. Голобородько, Е. В. Роль системы оценки эффективности и качества медицинских технологий в совершенствовании программ санаторно-курортного лечения военнослужащих / Е. В. Голобородько, С. М. Разинкин, Н. А. Сюрис, Г. Г. Ерофеев [и др.] // Курортная медицина. - 2021. - № 4. - С. 25-29.

21. Ерофеев, Г. Г. Новая немедикаментозная технология повышения функциональных резервов организма спортсмена на основе биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты / Г. Г. Ерофеев, С. М. Разинкин, С. П. Драган, М. А. Брагин // СпортМед-2021: Сборник материалов тезисов работ участников XVI Международной научной конференции по вопросам состояния и

перспективам развития медицины в спорте высших достижений, Москва, 09-10 декабря 2021 г. - М.: РАСМИРБИ, 2021. - С. 43-45.

22. Брагин, М. А. Биоакустическая стимуляция дыхательной системы: применение в военном санатории в медицинской реабилитации пациентов после коронавирусной пневмонии / М. А. Брагин, Г. Г. Ерофеев, К. В. Золотарева, И. А. Михлик // Прикладные вопросы военной медицины: материалы Всероссийской межведомственной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22-23 сентября 2021 г. – СПб.: ГНИИИ ВМ МО РФ, 2021. - С. 233-242.

23. Голобородько, Е. В. Оценка эффективности применения новой физиотерапевтической технологии в комплексе методов медицинской реабилитации пациентов, перенесших коронавирусную пневмонию / Е. В. Голобородько, М. А. Брагин, Г. Г. Ерофеев, А. В. Сухинин // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. - 2022. - № 1. - С. 12-19.

24. Ерофеев, Г. Г. Эффективность биоакустической стимуляции дыхательной системы в комплексе методов коррекции функционального состояния спортсменов / Г. Г. Ерофеев, С. П. Драган, С. М. Разинкин // Безопасный спорт-2022: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 12-13 мая 2022 года. – СПб.: СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2022. - С. 185-191.

25. Разинкин, С. М. Реабилитация в спорте высших достижений: монография. Под общ. ред. д.м.н., проф. С. М. Разинкина, чл.-корр., д.м.н., проф. А. С. Самойлова / С. М. Разинкин, А. С. Самойлов, В. В. Петрова, А. В. Хан [и др.]. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2022. - 443 с.

ПАТЕНТЫ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ МОДЕЛИ

1. Патент на полезную модель № 148484 U1 Российская Федерация, МПК A61B 5/085. Устройство для импедансных исследований функции внешнего дыхания: № 2014131752/14: заявл. 31.07.2014: опубл. 10.12.2014 / Драган С. П., Богомолов А. В., Ерофеев Г. Г. – 4 с.

2. Патент № 2572750 C1 Российская Федерация, МПК A61B 5/085. Способ диагностики состояния дыхательного тракта: № 2014131753/14: заявл. 31.07.2014: опубл. 20.01.2016 / Драган С. П., Богомолов А. В., Ерофеев Г. Г. – 8 с.

3. Патент на полезную модель № 154260 U1 Российская Федерация, МПК A61B 5/085. Устройство для звуковой стимуляции дыхательной системы: № 2015102477/14: заявл. 27.01.2015: опубл. 20.08.2015 / Драган С. П., Богомолов А. В., Разинкин С. М., Корчажкина Н. Б., Ерофеев Г. Г., Ивашин В. А. – 6 с.

4. Патент № 2587970 C1 Российская Федерация, МПК A61H 21/00, A61H 23/00. Способ повышения функциональных резервов организма: № 2015102474/14: заявл. 27.01.2015: опубл. 27.06.2016 / Драган С. П., Богомолов А. В., Разинкин С. М., Корчажкина Н. Б., Ерофеев Г. Г., Ивашин В. А. – 6 с.

5. Патент № 2658471 C1 Российская Федерация, МПК A61H 23/00. Способ повышения интенсивности кровотока в сосудах мышечной ткани: № 2017135337: заявл. 05.10.2017: опубл. 21.06.2018 / Богомолов А. В., Разинкин С. М., Драган С. П., Самойлов

А. С., Фомкин П. А., Ерофеев Г. Г. – 8 с.

6. Патент на полезную модель № 177460 U1 Российская Федерация, МПК A61H 23/00, A61H 23/02, A61N 7/00. Акустическое устройство для стимуляции мышечной ткани конечностей: № 2017135343: заявл. 05.10.2017: опубл. 26.02.2018 / Фомкин П. А., Драган С. П., Разинкин С. М., Богомолов А. В., Самойлов А. С., Ерофеев Г. Г.. – 5 с.

7. Патент на полезную модель № 177461 U1 Российская Федерация, МПК A61H 23/02, A61N 7/00, A61H 23/00. Биомеханическое устройство для акустической стимуляции мышц ног: № 2017135345: заявл. 05.10.2017: опубл. 26.02.2018 / Драган С. П., Разинкин С. М., Богомолов А. В., Самойлов А. С., Фомкин П. А., Ерофеев Г. Г. – 5 с.

8. Патент на полезную модель № 179637 U1 Российская Федерация, МПК A61H 23/00. Акустический стимулятор кровотока в мышцах рук: № 2017135344: заявл. 05.10.2017: опубл. 21.05.2018 / Разинкин С. М., Драган С. П., Богомолов А. В., Самойлов А. С., Фомкин П. А., Ерофеев Г. Г. – 5 с.

9. Патент № 2672390 C1 Российская Федерация, МПК A61H 15/00. Средство для акустической стимуляции мышц конечности: № 2017135340: заявл. 05.10.2017: опубл. 14.11.2018 / Драган С. П., Богомолов А. В., Разинкин С. М., Самойлов А. С., Фомкин П. А., Ерофеев Г. Г. – 5 с.

10. Патент № 2679821 C1 Российская Федерация, МПК A61H 15/00. Биомеханическое средство для акустической стимуляции мышечной ткани конечности: № 2017135338: заявл. 05.10.2017: опубл. 13.02.2019 / Богомолов А. В., Драган С. П., Разинкин С. М., Самойлов А. С., Фомкин П. А., Ерофеев Г. Г. – 5 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Методические рекомендации по применению биоакустической стимуляции дыхательной системы высокоинтенсивными звуками низкой частоты для повышения функциональных резервов органов дыхания и профилактики бронхоспазма: методические рекомендации, МР ФМБА России 69-2017 / А. С. Самойлов, Г. Г. Ерофеев, И. А. Берзин, С. П. Драган, С. М. Разинкин [и др.]. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2017. - 20 с.

2. Методические рекомендации по применению акустической стимуляции легких в комплексе мероприятий медицинской реабилитации пациентов при диагнозе «Другая хроническая обструктивная легочная болезнь»: методические рекомендации / А. С. Самойлов, А. С. Радилов, С. М. Разинкин, С. П. Драган, Г. Г. Ерофеев [и др.]. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. - 24 с.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АД - артериальное давление;
АПК - аппаратно-программный комплекс;
АЧХ - амплитудно-частотная характеристика;
БАС МТ - биоакустическая стимуляция мышечной ткани;
БСДС - биоакустическая стимуляция дыхательной системы;
ЖЕЛ - жизненная емкость легких;
ИВС - игровые виды спорта;
МКД - максимальный кислородный долг;
МОС - максимальная объёмная скорость при выдохе;
МПК - максимальное потребление кислорода;
НЧАК - низкочастотные акустические колебания;
ОФВ1 - объем форсированного выдоха за первую секунду;
ПАНО - порог анаэробного обмена;
ПОС - пиковая объемная скорость выдоха;
ПТСР - посттравматическое стрессовое расстройство;
СКВС - сложнокоординационные виды спорта;
СОС - средняя объёмная скорость при выдохе;
УЗД - уровень звукового давления;
ФЖЕЛ - форсированная жизненная емкость легких;
ХОБЛ - хроническая обструктивная болезнь легких;
ЦВС - циклические виды спорта;
ЧСС - частота сердечных сокращений;
COVID - коронавирусная инфекция;
SpO_2 - насыщение крови кислородом.