

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

EXPERIMENTAL STUDIES

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-2-62-66>
УДК 616.001.3:616.728.3:796

Оригинальная статья
© ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ НЕЛЕТАЛЬНОГО ОРУЖИЯ

В.А. Ивашин¹

¹ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна»
ФМБА России, Москва, Россия

Резюме. Цель экспериментального исследования – адаптация метода импедансной спектроскопии применительно к оценке возможных последствий акустического воздействия разных параметров.

Материалы и методы исследования. Исследование проводили на 70 кроликах (шиншилла) массой 2,5–3 кг. Формирование пяти экспериментальных и контрольной группы основывалось на предварительном обследовании животных с целью отбраковки особей с измененным акустическим стволовым вызванным потенциалом (ACBP) и другими показателями. Экспериментальные животные были подвергнуты воздействию пяти серий из 160 акустических импульсов с низкочастотным спектром в каждой серии.

Результаты исследования и их анализ. Исследование показало перспективность использования метода импедансометрии в экспериментальных работах для оценки влияния акустических факторов на функциональное состояние организма.

Показана также высокая чувствительность метода, позволяющего выявить разницу в негативном воздействии акустических факторов разных параметров, не выявленную, в частности, при анализе АСВП.

Результаты данной работы подтвердили необходимость проведения дальнейших исследований этого феномена и поиска методов оценки функционального состояния на органном и организменном уровнях, коррелирующих с параметрами импеданса.

Ключевые слова: акустический стволовой вызванный потенциал, биофизические показатели легких, вероятностно-временные характеристики, импедансная спектрометрия, интенсивность, кролики, параметрический излучатель, параметрическое воздействие, пиковый уровень, поляризация импеданса, системы нелетального оружия, ударно-акустическое воздействие, фазовый угол, эффекты

Для цитирования: Ивашин В.А. Импедансная спектрометрия как перспективный метод оценки эффектов параметрического и ударно-акустического воздействия систем нелетального оружия // Медицина катастроф. 2022. №2. С. 62-66.
<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-2-62-66>

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-2-62-66>
UDC 616.001.3:616.728.3:796

Original article
© Burnasyan FMBC FMBA

IMPEDANCE SPECTROMETRY AS A PROMISING METHOD TO ASSESS THE EFFECTS OF PARAMETRIC AND SHOCK-ACOUSTIC EFFECTS OF NON-LETHAL WEAPON SYSTEMS

V.A.Ivashin¹

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The aim of the study is to adapt the method of impedance spectroscopy as applied to the assessment of possible effects of acoustic impact of various parameters.

Materials and research methods. The study was carried out using 70 rabbits (chinchilla) weighing 2.5-3 kg. Five experimental and control groups were formed based on a preliminary examination of the animals in order to cull individuals with altered acoustic stem evoked potential and other parameters. The experimental animals were exposed to five series of 160 acoustic pulses with low-frequency spectrum each.

Results of the study and their analysis. The study showed the promising prospects of using the method of impedansometry in experimental work to assess the impact of acoustic factors on the functional state of the body.

High sensitivity of the method was also proved, allowing to identify difference in the negative impact of acoustic factors of different parameters, which were not identified, in particular, in the analysis of the altered acoustic stem evoked potential.

The results of this work confirmed the need for further research on this phenomenon and for the search for methods of assessing the functional state at the organ and organism levels, correlating with impedance parameters.

Key words: acoustic stem evoked potential, effects, impedance polarization, impedance spectrometry, intensity, lung biophysical parameters, non-lethal weapon systems, parametric emitter, parametric exposure, peak level, phase angle, probabilistic and temporal characteristics, shock-acoustic effect

For citation: Ivashin V.A. Impedance Spectrometry as a Promising Method to Assess the Effects of Parametric and Shock-Acoustic Effects of Non-Lethal Weapon Systems. Meditsina Katastrof = Disaster Medicine. 2022;2:62-66 (In Russ.).
<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-2-62-66>

Контактная информация:

Ивашин Владимир Алексеевич – кандидат мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории виброакустической патологии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46
Тел.: +7 (499) 190-34-73; +7 (985) 954-47-34
E-mail: vivashinfmhc@mail.ru

Contact information:

Vladimir A. Ivashin – Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Vibroacoustic Pathology of Burnazyan FMBC of FMBA of Russia

Address: 46, bldg. 8, Zhivopisnaya str., Moscow, 123098, Russia
Phone: +7 (499) 190-34-73; +7 (985) 954-47-34
E-mail: vivashinfmhc@mail.ru

Введение

Разнообразие акустических шумов, которым подвергается человек в различных ситуациях, не ограничивается нарушениями слухового восприятия в виде временного или постоянного снижения порога слуха. При умеренном и весьма сильном, однако не имеющем разрушительную силу (выше 120 дБ), шумовом воздействии, даже при малых экспозициях, у людей могут возникать стрессовые состояния в разных проявлениях [1, 2].

Акустические воздействия разной интенсивности и разных вероятностно-временных характеристик могут вызывать нарушения не только слуховой системы вплоть до разрыва барабанных перепонок, но и патологические изменения в лёгких и головном мозге. Морфологические проявления акустического воздействия, как правило, связаны с воздействием акустических импульсов с пиковым уровнем выше 160–170 дБ. Однако – в отличие от ударной волны, характеризующейся прямым сверхзвуковым ударом и метательным действием, приводящим ко вторичному удару о препятствия – акустические импульсы могут также приводить к нарушениям в лёгких и головном мозге – от функциональных до патологических [3].

Основное требование к спецсредствам акустического воздействия – возможность психоэмоционального влияния за счет ослепления и оглушения, моделирующих опасность нарушения здоровья и гибели, с целью формирования страха как базовой эмоции. Подобная стресс-реакция возможна при использовании средств параметрического акустического и светового излучения.

В настоящее время разработка и внедрение нелетального оружия требуют обоснования его целенаправленного применения, а также оценки возможных нежелательных последствий, т.е. безопасности использования [4].

Таким образом, оценка оправданного риска применения сложноорганизованных и экстремально интенсивных акустических колебаний, генерируемых системами импульсного или параметрического воздействия, является актуальной задачей, которая может быть решена путем экспериментальных исследований на двух или трех видах животных, что позволяет применить методику экстраполяции полученных данных на реальные объекты.

Экспериментальное изучение последствий воздействия акустических импульсов при пиковом уровне звукового давления 5–50 кПа выявило ряд особенностей акустического воздействия на лёгкие, отличающегося от поражения при воздействии ударной волны.

Эффективность и безопасность акустического импульса невозможно оценить по параметрам избыточного давления, так как биологическая эффективность складывается из амплитудно-частотных характеристик и временных параметров импульса. В настоящее время не выявлены закономерности, определяющие характер и степень изменений функционального состояния лёгких

и головного мозга, что и определяет необходимость проведения экспериментальной экспертной оценки каждого перспективного спецсредства.

В результате была разработана методика количественной оценки функционального состояния лёгких по комплексу таких показателей, как удельная плотность воздушных и спавшихся лёгких; соотношение плотности воздушных и спавшихся лёгких; разница объема воздушных и спавшихся лёгких [5, 6]. Этот комплекс позволяет описать клиническую картину поражения лёгких – их функциональное состояние.

Изменения в лёгких часто сочетаются с поражением стволовых структур головного мозга даже при воздействии акустических импульсов различных временных характеристик и амплитудой положительной фазы всего 10–20 кПа. Эти изменения были выявлены методом регистрации акустических стволовых вызванных потенциалов (ACBП), применяемым в клинической практике, в частности, для оценки степени поражения головного мозга – от поражения средней степени тяжести до крайне тяжелого поражения по классификации типов нарушения ACBП [7, 8].

Химический анализ элементов ствола головного мозга овец с изменением ACBП тяжелой степени показал увеличение удельного содержания натрия в среднем на 27,9% и снижение удельного содержания калия на 28,0% (таблица).

Данные, представленные в таблице, свидетельствуют об отеке стволовой части головного мозга, отразившемся на характере ACBП.

В клинической практике при анализе ACBП значительное внимание уделяется показателям латентности основных пиков и межпиковых интервалов, характеризующих наличие изменений в состоянии центральной нервной системы (ЦНС) при различных заболеваниях, в том числе нарушениях слуха [9].

Преимущество регистрации ACBП в эксперименте до и после воздействия заключается в возможности индивидуального анализа изменений амплитудных значений и латентности и их связи с параметрами фактора.

Таблица /Table
Удельное содержание некоторых элементов
в стволе мозга овец контрольной группы
с изменениями ACBП тяжелой и крайне тяжелой
степени после воздействия акустического импульса
Specific Content of Some Elements
in the Brainstem of Sheep in the Control Group
with Changes in Severe and Extremely
Severe ASVP Degree after Exposure to an Acoustic Pulse

Элемент Element	Контроль Control	Опыт Experience
Na, мг/г (mg/g)	1,29±0,04	1,65±0,04
K, мг/г (mg/g)	3,65±0,05	2,85±0,11
Zn, мг/г (mg/g)× 10 ⁻²	1,3±0,02	1,05±0,17
Fe, мг/г (mg/g)× 10 ⁻²	1,58±0,05	1,4±0,04
Cu, мг/г (mg/g)× 10 ⁻³	3,94±0,14	3,46±0,07
Mg, мг/г (mg/g)× 10 ⁻¹	1,19±0,02	1,29±0,03

Анализ химического состава головного мозга в значительной степени служит дополнением к результатам регистрации АСВП, однако является трудоемким методом, затрудняющим проведение анализов в необходимом объеме.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости расширения методического аппарата для оценки биологических эффектов акустического воздействия разрабатываемых и существующих спецсредств.

В настоящее время в биологии и медицине для измерения электрических свойств биологических тканей все больше применяется метод импедансной спектроскопии [10–14]. Этот метод позволяет осуществлять дифференциацию тканей и распознавать патологические процессы, в первую очередь связанные с состоянием клеточных липидных мембран. В области α -дисперсии ($0,1$ – 100 кГц) происходит поляризация целых клеток в результате диффузии ионов и, следовательно, преобладают токи, огибающие клетки через растворы электролитов.

Нормальное состояние липидных мембран клеток характеризуется резким снижением импеданса при изменении частот от $0,1$ до 100 кГц. Сглаживание дисперсионной кривой импеданса свидетельствует о негативных изменениях клеточного образования.

Цель исследования – адаптация метода импедансной спектроскопии применительно к оценке возможных последствий акустического воздействия разных характеристик.

Задачи исследования:

- адаптация цифрового измерителя LRC AM-3125 для определения электрических свойств биологических тканей;
- оценка чувствительности адаптированного методического комплекса регистрации электрического импеданса при акустических воздействиях;
- определение параметров импеданса органов у кроликов контрольной группы после эвтаназии;
- определение параметров импеданса головного мозга у кроликов пяти экспериментальных групп, подвергавшихся акустическому воздействию разных параметров.

Материалы и методы исследования. Исследование проводили с использованием 70 кроликов (шиншилла) массой 2,5–3 кг. Формирование пяти экспериментальных и контрольной групп основывалось на предварительном обследовании с целью отбраковки особей с измененными АСВП и другими показателями. Экспериментальные животные были подвергнуты воздействию пяти серий из 160 акустических импульсов с низкочастотным спектром. Пиковый уровень 1-й, 2-й и 3-й групп равнялся 119, 125 и 112 дБ соответственно, 4-й и 5-й групп – 117 и 121 дБ соответственно. По спектру 1-я, 2-я и 3-я группы были идентичны и отличались от 4-й и 5-й, которые были схожи между собой по характеру спектра.

До и после воздействия производили запись АСВП кроликов контрольной и экспериментальных групп [12]. Эвтаназию проводили методом декапитации без пересечения трахеи в соответствии с методикой вскрытия и макроскопического обследования и измерения биофизических показателей лёгких [7].

Импедансометрию головного мозга, крови и внутренних органов проводили цифровым измерителем LRC AM-3125, адаптированным для биологических исследований.

Цифровой измеритель Актаком LRS AM-3125 предназначен для измерения: индуктивности L , емкости C , сопротивления R , полного сопротивления Z , эквива-

лентного последовательного сопротивления ESR, тангенса угла диэлектрических потерь D , добротности Q и фазового угла Θ при эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Прибор обеспечивает измерения на рабочих частотах 100 и 120 Гц; 1, 10 и 100 кГц. Базовая относительная погрешность измерений – 0,25%.

В эксперименте использовали штатный измерительный кабель с зажимами Кельвина, которые соединяли с контактами держателя электродов, погружаемых в биоматериал.

В качестве электродов использовали иглы для инъекций диаметром 1 мм, закрепленные в держателе и обеспечивающие одинаковую глубину погружения (10 мм) в биоматериал при расстоянии между ними 10 мм.

Измеряемыми исходными параметрами были: дисперсия электрического импеданса и угол фазового сдвига. Выполнялся расчет поляризации в группе.

Результаты исследования и их анализ. Цифровой измеритель LRC, предназначенный для получения технических характеристик радиотехнической аппаратуры, не комплектуется электродами, пригодными для измерения электрических характеристик биологических тканей. Для использования импедансометрии в биологическом эксперименте апробировали разные варианты установки электродов в измеряемый орган, остановившись на держателе, обеспечивающем одинаковую глубину погружения и одинаковое расстояния между электродами. Работоспособность полученной измерительной системы проверили на растительных объектах (картофель, алоэ, яблоко) и на органах крысы в разные сроки после эвтаназии. Полученные кривые дисперсии импеданса и фазового угла и динамики их трансформации в результате естественного процесса отмирания тканей показали возможность применения этой схемы для биологического эксперимента.

Сравнительный индивидуальный анализ параметров АСВП кроликов экспериментальных и контрольной группы, зарегистрированных до и в разные сроки после воздействия, не выявил изменений латентности и межпиковых интервалов всех основных пиков, которые можно было бы связать с воздействующим фактором. При вскрытии не было выявлено внешних макроскопических изменений в мозге и внутренних органах, в том числе в лёгких. Биофизические показатели лёгких экспериментальных животных не отличались от зарегистрированных в контрольной группе.

Импеданс головного мозга контрольных и экспериментальных животных регистрировали между полуушалями в проекции вертекса. Индивидуальные кривые дисперсии импеданса мозга кроликов контрольной группы демонстрируют разницу приблизительно в 600 Ом на частотах 100–120 Гц и меньшую разницу в диапазоне 1–100 кГц (рис. 1а). В то же время поляризация импеданса у животных этой группы практически одинаковая даже при низких частотах (рис. 1б). Разница в величине фазового угла составляет всего 5,6° только на частоте 100 Гц (рис. 1в).

Измерение импеданса головного мозга животных 1-й, 3-й и 4-й групп не выявило изменений электрических характеристик ткани мозга по сравнению с контролем и разницы индивидуальных регистрируемых и расчетных параметров между группами.

Представлялось важным оценить импеданс кроликов 2-й и 5-й групп, подвергшихся акустическим воздействиям с различным частотным спектром и пиковыми уровнями звукового давления.

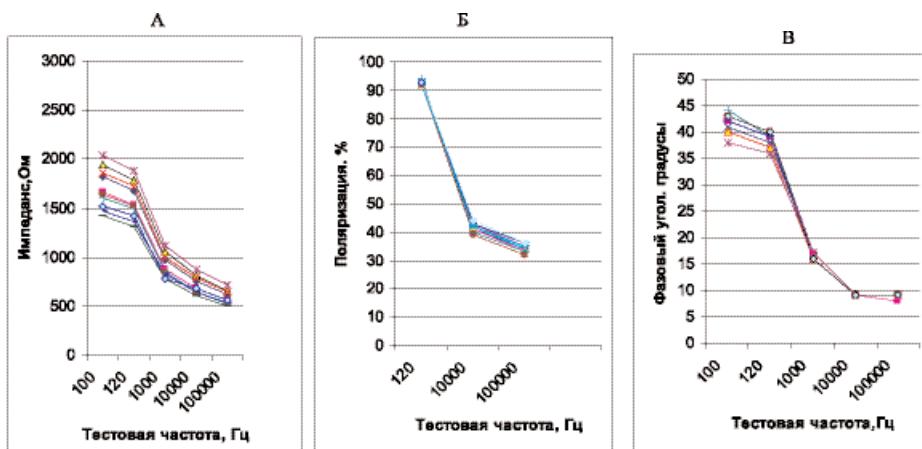


Рис.1. Импеданс головного мозга у кроликов контрольной группы
Fig. 1. Brain impedance of control group rabbits

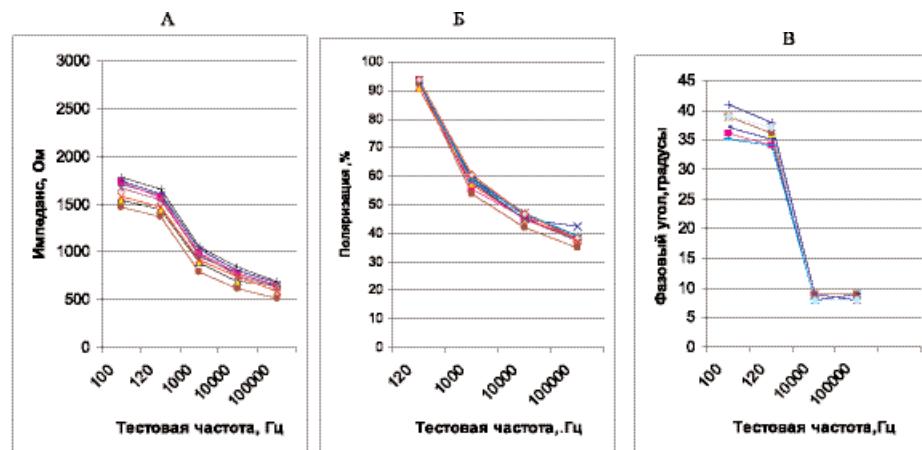


Рис.2. Импеданс головного мозга у кроликов 2-й группы
Fig. 2. Brain impedance of group 2 rabbits

Сопоставление результатов измерения во 2-й и контрольной группах выявило небольшое сужение диапазона индивидуальных значений и абсолютных величин импеданса на частоте 100–120 Гц (рис. 2а, 2б, 2в). Поляризация импеданса и фазовый угол не отличались от контроля.

В то же время в 5-й группе дисперсия импеданса головного мозга разных кроликов значительно различалась, что в свою очередь сказалось на кривых поляризации на частотах 10–100 Гц (рис. 3а, 3б). Пиковый уровень акустического воздействия на кроликов 2-й группы был выше, чем в 5-й группе, на 4 дБ, однако во 2-й группе не было выявлено развития таких негативных процессов в головном мозге подопытных животных, как в 5-й группе.

Результаты измерения параметров импеданса головного мозга в 5-й группе показали различную акустическую чувствительность экспериментальных животных. Так, только у 60% были зарегистрированы серьезные отклонения от контроля дисперсии, поляризации и фазового угла (рис. 3в). Соответственно, у 40% животных значимых изменений параметров импедансометрии выявлено не было (рис. 3г).

Таким образом, исследования показали перспективность использования метода импедансометрии в экспериментальных работах для оценки влияния акустических факторов на функциональное состояние организма.

Показана высокая чувствительность метода, позволяющего выявить разницу в негативном воздействии акустических факторов разных параметров, не выявленную, в частности, при анализе АСВП.

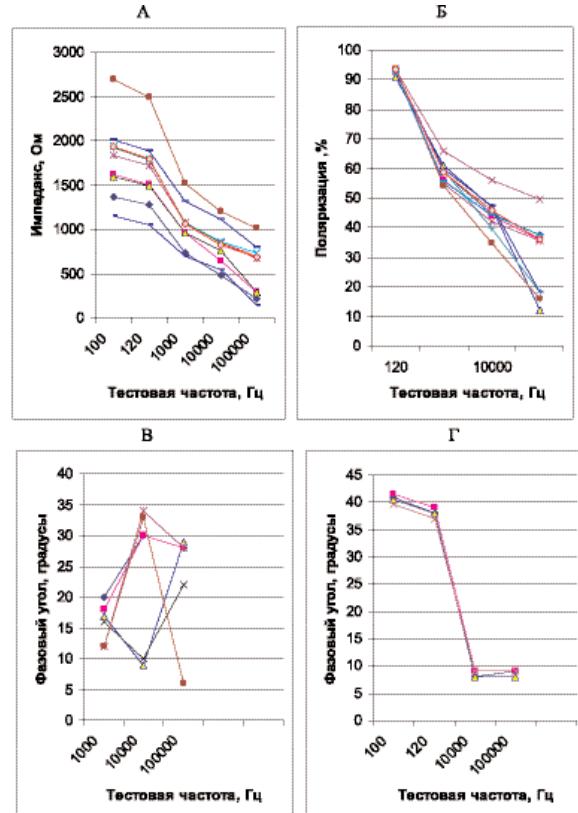


Рис.3. Импеданс головного мозга у кроликов 5-й группы
Fig. 3. Brain impedance of group 5 rabbits

Результаты работы показали необходимость проведения дальнейших исследований этого феномена и поиска методов оценки функционального состояния на

органическом и организменном уровнях, коррелирующих с параметрами импеданса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Карагодина Г.А. и др. Глава 6. Физические факторы, эколого-гигиеническая оценка и контроль // Шум: Руководство. М.: Медицина, 1999. С. 31-59.
2. Китаев-Смык Л.А. Поведение людей при кратковременном акустическом стрессе // Психология стресса. М.: Наука, 1983. С.114-139.
3. Ивашин В.А., Григорьев О.А., Драган С.П., Соловьев В.П. Медицинский аппарат для оценки эффективности современных спецсредств ударно-акустического действия // Сборник докладов 2-й Международной научно-практической конференции «Спецсредства нелетального действия». М., 2015. С. 24-26.
4. Григорьев О.А., Ивашин В.А., Алексеева В.А. Процедура оценки безопасности в рамках методических указаний по организации и проведению экспертизы специальных средств, использующих физические факторы воздействия // Сборник трудов XVII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности», Санкт-Петербург, 01-04 апреля 2015 г. СПб., 2015. С. 1-3.
5. Ивашин В.А., Соловьев В.П., Белогорлова О.В. Экстремесс-оценка состояния легких у экспериментальных животных при экстремальных воздействиях // Медицина экстремальных ситуаций. 2008. № 1. С. 87-93.
6. Ивашин В.А., Кезик В.И., Соловьев В.П. Модифицированная методика оценки состояния легких экспериментальных животных при экстремальных воздействиях // Саратовский научно-медицинский журнал. 2017. Т.13, № 4. С. 907-912.
7. Порядок регистрации биофизических показателей легких для оценки биологической эффективности ударно-акустических и акустических воздействий в опытах на различных видах биообъектах: Методические указания. МУ № 03.34.07-2014. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2014.
8. Оглезнев К.Я., Шестериков С.А., Шубин Е.Б. Вызванные потенциалы ствола мозга и периферических нервов. Новосибирск: Наука, 1987. С. 66.
9. Гнездцкий В.В. Анализ результатов АСВП в клинической практике // Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог: Издательство ТРТУ, 1997. С. 79-83.
10. Порядок регистрации акустических стволовых вызванных потенциалов (АСВП) для оценки биологической эффективности экстремальных ударно-акустических и акустических воздействий в опытах на различных видах биообъектов: Методические указания. МУ № 02.34.07-2014. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2014.
11. Тихомиров А.М. Импеданс биологических тканей и его применение медицине. М.: Российский государственный медицинский университет, 2006. 12 с.
12. Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. Bioimpedansnyy Analiz Sostava Tela Cheloveka = Bioimpedance Analysis of Human Body Composition. Moscow, Nauka Publ., 2009, 392 p. ISBN 978-5-02-036696-1.

REFERENCES

1. Izmerov N.F., Suvorov G.A., Karagodina G.A., et al. Physical Factors, Environmental and Hygienic Assessment and Control. Shum = Noise. Guide. Moscow, Meditsina Publ., 1999. P. 31-59 (In Russ.).
2. Kitayev-Smyk L.A. Behavior of People During Short-Term Acoustic Stress. Psichologiya Stressa = Psychology of Stress. Moscow, Nauka Publ., 1983. P. 114-139 (In Russ.).
3. Ivashin V.A., Grigoryev O.A., Dragan S.P., Solovyev V.P. Medical Apparatus for Evaluating the Effectiveness of Modern Special Equipment with Shock-Acoustic Action. Sbornik Dokladov 2-iy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii Spetsredstva Neletalnogo Deystviya = Collection of Reports of the 2nd International Scientific-Practical Conference Special Means of Non-Lethal Action. Moscow, 2015. P. 24-26 (In Russ.).
4. Grigoryev O.A., Ivashin V.A., Alekseyeva V.A. The Procedure for Assessing Safety Within the Guidelines for Organizing and Conducting an Examination of Special Means Using Physical Factors of Influence. Sbornik Trudov KHV111 Vserossiyskoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii RAN Aktualnyye Problemy Zashchity i Bezopasnosti, Sankt-Peterburg, 01-04 Aprelya 2015 g. = Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference of the Russian Academy of Sciences Actual Problems of Protection and Safety, St. Petersburg, 01-04 April, 2015. St. Petersburg Publ., 2015. P. 1-3 (In Russ.).
5. Ivashin V.A., Solov'ev V.P., Belogorlova O.V. Rapid Estimate of Lung Condition of Experimental Animals in Extreme Environment. Meditsina Ekstremalnykh Situatsiy = Extreme Medicine. 2008; 1:87-93 (In Russ.).
6. Ivashin V.A., Kezik V.I., Solovyev V.P. The Modified Assessment Technique of the Condition of Lungs at the Experimental Animals at Extreme Exposures. Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal = Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2017;13;4:907-912 (In Russ.).
7. Poryadok Registratsii Biofizicheskikh Pokazateley Legkikh dlya Otsenki Biologicheskoy Effektivnosti Udarno-Akusticheskikh i Akusticheskikh Vozdeystviy v Optyakh na Razlichnykh Vidakh Bioobyektakh = The Procedure for Registering the Biophysical Parameters of the Lungs for Assessing the Biological Effectiveness of Shock-Acoustic and Acoustic Effects in Experiments on Various Types of Biological Objects. Guidelines. MU № 03.34.07-2014. Moscow, FMBC Im. A.I. Burnasyana Publ., 2014 (In Russ.).
8. Ogleznev K.Ya., SHesterikov S.A., SHubin Ye.B. Vyzvannyye Potentsialy Stvola Mozga i Perifericheskikh Nervov = Evoked Potentials of the Brainstem and Peripheral Nerves. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. P. 66 (In Russ.).
9. Gnezdzitskiy V.V. Analysis of ASEP Results in Clinical Practice. Vyzvannyye Potentsialy Mozga v Klinicheskoy Praktyke = Evoked Potentials of the Brain in Clinical Practice. Taganrog Publ., 1997. 252 p. (In Russ.).
10. Poryadok Registratsii Akusticheskikh Stvolovykh Vyzvannyykh Potentsialov (ASVP) dlya Otsenki Biologicheskoy Effektivnosti Ekstremal'nykh Udarno Akusticheskikh i Akusticheskikh Vozdeystviy v Optyakh na Razlichnykh Vidakh Bioobyektakh = The Procedure for Recording Acoustic Stem Evoked Potentials (ASEP) for Assessing the Biological Effectiveness of Extreme Shock-Acoustic and Acoustic Effects in Experiments on Various Types of Biological Objects. Guidelines. MU № 02.34.07-2014. Moscow, FMBC Im. A.I. Burnasyana Publ., 2014 (In Russ.).
11. Tikhomirov A.M. Impedans Biologicheskikh Tkaney i Yego Primeneniye Meditsine = Impedance of Biological Tissues and its Application to Medicine. Moscow Publ., 2006. 12 p. (In Russ.).
12. Nikolayev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. Bioimpedansnyy Analiz Sostava Tela Cheloveka = Bioimpedance Analysis of Human Body Composition. Moscow, Nauka Publ., 2009, 392 p. ISBN 978-5-02-036696-1 (In Russ.).