

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ EXPERIMENTAL STUDIES

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2024-3-55-60>
УДК 616.24-001

Оригинальная статья
© ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОРГАНА ДЫХАНИЯ У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

В.И.Кезик¹, С.П.Драган¹, В.А.Ивашин¹, А.В.Богомолов¹

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

Резюме. Цель исследования – сопоставление методов диагностики состояния органа дыхания у экспериментальных животных при воздействии на них физических факторов, интенсивность и время экспозиции которых близки к экстремальным. **Материалы и методы исследования.** В экспериментах участвовали 45 кроликов – самцов породы «Советская шиншилла» с массой тела 2,7–3,4 кг, случайным образом распределенных на 4 группы: контрольную группу, группу подвергшихся воздействию на легкие, группу подвергшихся воздействию на орган слуха и группу подвергшихся термическому воздействию на разные участки кожи. Для дифференциации структурно-функциональных нарушений системы внешнего дыхания были использованы три методики диагностики состояния органа дыхания экспериментальных животных (кроликов): акустическая импедансометрия респираторного тракта, анализ биофизических показателей легких и патологоанатомическое исследование.

Результаты исследования и их анализ. Установлено, что методики диагностики состояния дыхательной системы по импедансным и биофизическим показателям и результатам патологоанатомического исследования дополняют друг друга, обеспечивая объективную диагностику состояния органа дыхания у экспериментальных животных при воздействии на них физических факторов, интенсивность и время экспозиции которых близки к экстремальным и сопоставимы по объективности (чувствительность и специфичность диагностики) с методами, используемыми в медицинской клинической практике (импульсная осциллометрия).

Ключевые слова: акустическая импедансометрия, биофизические показатели легких, дыхательная система, легкие, кровоизлияния на плевральной поверхности легких, кролики, методы диагностики, орган дыхания, патологоанатомическое исследование легких, экстраполяция

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Кезик В.И., Драган С.П., Ивашин В.А., Богомолов А.В. Сравнительный анализ методов диагностики состояния органа дыхания у экспериментальных животных // Медицина катастроф. 2024. №3. С. 55-60.
<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2024-3-55-60>

[https://doi.org/10.33266/2070-1004-2-55-60](https://doi.org/10.33266/2070-1004-2024-2-55-60)
UDC 616.24-001

Original article

© Burnasyan FMBC FMBA

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE RESPIRATORY ORGAN OF EXPERIMENTAL ANIMALS

V.I.Kezik¹, S.P.Dragan¹, V.A.Ivashin¹, A.V.Bogomolov¹

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

Summary. The purpose of the study is to comparison of methods for diagnosing the state of the respiratory organ of experimental animals under the influence of physical factors, the intensity and exposure times of which are close to extreme.

Materials and methods of research. The experiments used 45 male rabbits of the "Soviet Chinchilla" breed with a body weight of 2,7-3,4 kg, randomly divided into a control group, a group exposed to the lungs, a group exposed to the hearing organ and a group exposed to thermal effects on different areas of skin. To differentiate structural and functional disorders of the external respiratory system, three methods for diagnosing the state of the respiratory organ of experimental animals (rabbits) were used: acoustic impedance measurement of the respiratory tract, analysis of biophysical parameters of the lungs and pathological examination. A general conclusion about the state of the respiratory organ was given on the basis of a comparative statistical analysis of the characteristics of animals in the experimental and control groups. The relative size of the area of hemorrhages on the pleural surface of the lungs was used as a criterion indicator.

The results of the study and their analysis. It has been shown that methods for diagnosing the state of the respiratory system based on impedance, biophysical indicators and the results of a pathological examination complement each other, providing an objective

diagnosis of the state of the respiratory organ of experimental animals under the influence of physical factors, the intensity and exposure times of which are close to extreme, and are comparable in objectivity (sensitivity and diagnostic specificity) with methods used in medical clinical practice (impulse oscillometry).

Key words: acoustic impedance measurement, biophysical indicators of the lungs, extrapolation, hemorrhages on the pleural surface of the lungs, lungs, pathological examination of the lungs, rabbit, respiratory organ, respiratory system

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Kezik V.I., Dragan S.P., Ivashin V.A., Bogomolov A.V. Comparative Analysis of Methods for Assessing the Functional State of the Respiratory Organ of Experimental Animals. Meditsina Katastrof = Disaster Medicine. 2024;3:55-60 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2024-3-55-60>

Контактная информация:

Кезик Владимир Иванович – старший научный сотрудник ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России

Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46

Тел.: +7 (499) 190-34-73

E-mail: vladimirik57@mail.ru

Contact information:

Vladimir I. Kezik – Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

Address: 46, Zhivopisnaya str., Moscow, 123182, Russia

Phone: +7 (499) 190-34-73

E-mail: vladimirik57@mail.ru

Введение

Решение проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности и спасения населения при воздействии поражающих факторов чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует наличия объективной информации о ближайших и отдаленных медико-биологических последствиях их воздействия. С учетом того, что интенсивность и время экспозиции таких факторов близки к экстремальным, соответствующие медико-биологические испытания (МБИ) проводят на биологических моделях – экспериментальных животных – с последующей экстраполяцией полученных результатов на человека [1, 2].

Перечень методик МБИ должен включать комплекс методик диагностики состояния всех жизненно важных органов и систем организма. Причем эти методики должны быть мобильными и нетрудозатратными, обеспечивать возможность проведения исследований в полевых условиях. Методы лучевой диагностики, наиболее часто применяемые как «золотой стандарт», этим требованиям не удовлетворяют.

Известно, что дыхательная система человека и животных является наиболее чувствительной и быстро реагирующей на воздействия разной природы [3–5]. Многочисленные факторы внешней среды влияют на состояние системы дыхания, обусловливая возникновение структурных и функциональных нарушений, развитие патологических проявлений и, как следствие, наносят вред здоровью [6–8]. Поэтому объективная диагностика состояния органа дыхания является важной и актуальной задачей обеспечения безопасности человека в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях.

Проведенные ранее патоморфологические исследования состояния легких у экспериментальных животных, подвергнутых экстремальным воздействиям, выявили необходимость регистрации изменений в виде эмфизем, ателектазов, тотального или буллезного вздутия, геморрагий и др. [9–12]. Объективная количественная патоморфологическая экспертиза признаков этих изменений – затруднена, а объективно оценить состояние воздухоносных путей по результатам патологоанатомического исследования в большинстве случаев также непросто [13–17]. Поэтому для объективизации диагностики состояния органа дыхания при воздействии экстремальных факторов необходимо расширять комплекс методов исследования.

Цель исследования – сопоставить методы диагностики состояния органа дыхания у экспериментальных

животных при воздействии физических факторов, интенсивность и время экспозиции которых близки к экстремальным.

Материалы и методы исследования. Система внешнего дыхания включает лёгкие, малый круг кровообращения и грудную клетку с дыхательной мускулатурой. Эффективность внешнего дыхания определяют три взаимно координированных процесса: лёгочная вентиляция; диффузия газов через альвеолярно-капиллярную мембрану; лёгочная перфузия – кровоток по лёгочным капиллярам и оптимальное соотношение вентиляции и перфузии в разных участках лёгочной ткани [3, 18–20]. Нарушения любого функционального компонента системы внешнего дыхания могут приводить к тяжелым расстройствам дыхания и клиническим проявлениям болезни.

Для дифференциации структурно-функциональных нарушений системы внешнего дыхания были использованы три методики диагностики состояния органа дыхания:

- акустическая импедансометрия (АИ) респираторного тракта, ориентированная на определение состояния воздухоносных путей и жизненной ёмкости легких: АИ1 – по резонансным характеристикам легких, АИ2 – по резонансным и диссипативным характеристикам легких [21–25];

- анализ биофизических показателей (БП) легких, ориентированный на определение плотности паренхимы легкого посредством измерения массы и объема воздушных или спавшихся легких [26–29];

- патологоанатомическое (ПА) исследование, ориентированное на определение площади кровоизлияний на плевральной поверхности легких [3, 30–32].

В качестве критериального показателя – «золотого стандарта» – наиболее часто используется относительная величина площади кровоизлияний на плевральной поверхности легких ($\Delta S, \%$), поскольку уменьшение дыхательной поверхности легких приводит к стойкой утрате трудоспособности¹: при площади кровоизлияния на плевральной поверхности легких более 1% от общей площади животное считается больным [26, 32]. С результатами патологоанатомического исследования сопоставляются результаты, полученные с применением АИ и БП. Общее заключение о состоянии

¹ Об утверждении медицинских критериев определения степени тяжести вреда, причиненного здоровью человека: приказ Минздравсоцразвития России от 24.04.2008 г. №194н

органа дыхания по методам АИ и БП дается на основании сопоставительного статистического анализа характеристик животных опытной и контрольной групп.

Результаты исследования и их анализ. В экспериментах по верификации методов диагностики состояния органа дыхания были использованы 45 кроликов – самцов породы «советская шиншилла» с массой тела 2,7–3,4 кг, случайным образом разделенных на четыре группы: 10 кроликов вошли в контрольную группу; 15 – в группу подвергшихся воздействию на легкие (баротравма легких); 15 – в группу подвергшихся воздействию на орган слуха (баротравма уха); 5 кроликов – в группу подвергшихся термическому воздействию на разные участки кожи (ожоги кожи). Патологоанатомические исследования были проведены на 36 кроликах; исследование биофизических показателей – у 24; измерение импедансометрических характеристик – у 44 кроликов.

Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации и одобрены этическим комитетом ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России – протокол от 10.04.2023 г. №107.

В табл. 1 представлены данные о наличии патологии дыхательной системы у кроликов опытных групп при применении различных методик определения поражения: наличие патологии обозначено цифрой 1; её отсутствие – 0.

При подсчете совпадений и несовпадений оценок по результатам применения каких-либо двух методик рассматривались только данные у тех кроликов, в отношении которых применялись обе методики. Статистика совпадения диагнозов «наличие патологии», определяемых разными методиками, представлена в табл. 2.

Таблица 1 / Table No. 1
Сопоставление методик диагностики патологии дыхательной системы у кроликов
Comparison of methods for diagnosing pathology of the respiratory system in rabbits

№ кролика / Rabbit no.	δS , %	Методика / Methodology				Совпадение результатов, полученных по двум методикам / Coincidence of results obtained using two methods				
		ПА PA	БП BP	AИ1 AI1	AИ AI2	ПА и БП PA and BP	ПА и АИ1 PA and AI1	ПА и АИ2 PA and AI2	БП и АИ1 BP and AI1	БП и АИ2 BP and AI2
Баротравма легких / Barotrauma of the lungs										
1	4,16	1	–	0	1	–	0	1	–	–
2	0,54	0	–	0	1	–	1	0	–	–
3	0,20	0	–	0	0	–	1	1	–	–
4	0,33	0	–	0	0	–	1	1	–	–
5	72,25	1	–	1	1	–	1	1	–	–
6	2,51	1	–	–	–	–	–	–	–	–
7	61,65	1	–	1	1	–	1	1	–	–
8	43,40	1	–	1	1	–	1	1	–	–
9	0,05	0	–	1	1	–	0	0	–	–
10	43,69	1	–	1	1	–	1	1	–	–
11	–	–	–	1	1	–	–	–	–	–
12	44,45	1	–	1	1	–	1	1	–	–
13	10,12	1	–	1	1	–	1	1	–	–
14	0,17	0	–	0	0	–	1	1	–	–
15	0,60	0	–	0	0	–	1	1	–	–
Баротравма уха / Barotrauma of the ear										
1	–	–	1	1	1	–	–	1	1	1
2	0,50	0	0	1	1	1	0	0	0	0
3	0,35	0	1	1	1	0	0	0	1	1
4	0,71	0	0	0	1	1	1	0	1	0
5	0,16	0	0	0	1	1	1	0	1	0
6	–	–	1	0	0	–	–	0	0	0
7	0,26	0	0	0	1	1	1	0	1	0
8	19,82	1	1	0	1	1	0	1	0	1
9	1,13	1	0	0	0	0	0	0	1	1
10	–	–	1	1	1	–	–	1	1	1
11	0,29	0	1	0	0	0	1	1	0	0
12	3,02	1	0	1	1	0	1	1	0	0
13	0,19	0	0	0	0	1	1	1	1	1
14	3,72	1	1	0	1	1	0	1	0	1
15	0,23	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ожоги кожи / Skin burns										
1	–	–	–	0	0	–	–	–	–	–
2	–	–	0	0	0	–	–	1	1	1
3	–	–	0	0	0	–	–	1	1	1
4	–	–	1	1	1	–	–	1	1	1
5	–	–	0	0	1	–	–	1	1	0
Контроль / Control										
1	0,27	0	–	1	1	–	0	0	–	–
2	0,10	0	–	1	1	–	0	0	–	–
3	0,16	0	–	1	1	–	0	0	–	–
4	0,09	0	–	1	1	–	0	0	–	–
5	0,27	0	–	0	0	–	1	1	–	–
6	0,67	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	0,36	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	0,64	0	1	1	1	0	0	1	1	1
9	0,10	0	0	0	1	1	1	0	1	0
10	0,12	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Примечание. ПА – патологоанатомическое исследование; БП – биофизические показатели лёгких; АИ1 – акустическая импедансометрия по резонансным характеристикам легких; АИ2 – акустическая импедансометрия по резонансным и диссиликативным характеристикам легких. Note. PA – pathological examination; BP – biophysical parameters of the lungs; AI1 – acoustic impedance measurement based on the resonance characteristics of the lungs; AI2 – acoustic impedance measurement based on resonant and dissipative characteristics of the lungs

Таблица 2 / Table No. 2

Статистика совпадения оценок патологии, определяемых разными методиками
Statistics of agreement between pathology assessments determined by different methods

Статистика совпадения диагнозов / Diagnosis coincidence statistics	Совпадение результатов, полученных по двум методикам / Coincidence of results obtained using two methods				
	БП и ПА BP and PA	АИ1 и ПА AI1 and PA	АИ2 и ПА AI2 and PA	БП и АИ1 BP and AI1	БП и АИ2 BP and AI2
Количество всех диагнозов, abs. / Number of all diagnoses, abs.	17	35	35	24	24
Количество совпадающих диагнозов, abs. / Number of matching diagnoses, abs.	12	23	21	18	15
Доля совпадающих диагнозов, % / Proportion of matching diagnoses, %	70,6	65,7	60,0	75,0	62,5
Количество совпадений при наличии патологии, abs. / Number of matches in the presence of pathology, abs.	2	7	10	5	7
Количество совпадений при отсутствии патологии, abs. / Number of matches in the absence of pathology, abs.	10	16	11	13	8

Таблица 3 / Table No. 3

Чувствительность и специфичность методик БП и АИ для диагностики состояния дыхательной системы у кроликов
Sensitivity and specificity of BP and AI methods for diagnosing the state of the respiratory system in rabbits

Показатель, % (абс.) / Indicator, % (abs.)	Методика / Methodology			
	БП / ВР BP / VR	АИ1 / АИ1 AI1 / AI1	АИ2 / АИ2 AI2 / AI2	БП и АИ1 / ВР и АИ1 BP and AI1 / VR and AI1
Чувствительность / Sensitivity	50 / 2 из 4	63,6 / 7 из 11	90,9 / 10 из 11	75,0 / 3 из 4
Специфичность / Specificity	76,9 / 0 из 13	66,7 / 16 из 24	54,2 / 13 из 24	84,6 / 11 из 13

Из данных табл. 2 видно, что совпадение диагнозов по показателю процента кровоизлияний и по биофизическим показателям имело место в 12 случаях из 17, т.е. составляло 70,6%. Из 12 совпадений 2 совпадения имели место при наличии патологии; 10 совпадений – при её отсутствии. Наиболее высокий процент совпадений дают методики АИ1 и БП – 75,0%.

На основании данных табл. 1, 2 определены оценки чувствительности и специфичности применяемых методик диагностики состояния дыхательной системы кроликов. В качестве «золотого стандарта» для расчета оценок чувствительности и специфичности методов АИ и БП использованы результаты ПА (табл. 3).

Для вычисления чувствительности и специфичности при совместном использовании двух методик учитывались данные только у тех кроликов, в отношении которых применялись обе методики.

Специфичность методики БП – 76,9%; её чувствительность – 50%.

У методики АИ2 чувствительность – по резонансным и диссипативным характеристикам легких – составила 90,9% (10 из 11); специфичность – по резонансным характеристикам легких – 66,7% (16 из 24).

Таким образом, целесообразно использовать:

- методику АИ2 – для определения границ зон безопасности персонала при сверхнормативном воздействии шума, поскольку ее чувствительность составляет 90,9%;
- методику БП совместно с методикой АИ1 – для анализа медико-биологических эффектов экстремальных физических факторов, поскольку их специфичность составляет 84,6%.

В медицинской практике для диагностики состояния дыхательной системы человека часто применяют метод импульсной осциллометрии, основанный на измерении

импедансных характеристик легких в диапазоне частот 5–35 Гц. Применение импульсной осциллометрии совместно с методами спирометрии и бодилплетизмографии обеспечивают: чувствительность диагностики состояния дыхательной системы – до 74%; её специфичность – до 100% [33–35].

Заключение

Методики диагностики состояния дыхательной системы по импедансным, биофизическим показателям и результатам патологоанатомического исследования дополняют друг друга и обеспечивают объективную диагностику состояния органа дыхания у экспериментальных животных при воздействии физических факторов, интенсивность и время экспозиции которых близки к экстремальным и сопоставимы по объективности (чувствительность и специфичность диагностики) с методами, используемыми в медицинской клинической практике.

Перспективы дальнейших исследований определяются применением полученных результатов:

- при обосновании мероприятий по сохранению здоровья, обеспечению работоспособности и продлению профессионального долголетия персонала, подвергающегося сверхнормативному воздействию физических факторов условий деятельности.

- для экстраполяции медико-биологических эффектов сверхнормативного воздействия физических факторов с животных на человека;

- при создании цифровых двойников функциональных систем организма в интересах проведения исследований медико-биологических эффектов воздействия физических факторов, интенсивность и время экспозиции которых являются экстремальными, без проведения экспериментов с задействованием животных и/или клинических исследований с участием людей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильин Л.А., Самойлов А.С. Роль радиобиологии и радиационной медицины в обеспечении защиты от воздействия ионизирующих излучений // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 6. С. 550-559.

2. Иванов И.В., Ушаков И.Б. Принципы экстраполяции экспериментальных данных с лабораторных животных на человека // Военно-медицинский журнал. 2019. № 12. С. 50-56.

REFERENCES

1. Iljin L.A., Samoilov A.S. The Role of Radiobiology and Radiation Medicine in Providing Protection from Exposure to Ionizing Radiation. Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2021;91:6:550-559 (In Russ.).

2. Ivanov I.V., Ushakov I.B. Principles of Extrapolation of Experimental Data from Laboratory Animals to Humans. Voenno-Meditsinskiy Zhurnal = Military Medical Journal. 2019;12:50-56 (In Russ.).

3. Осипов А.П., Аксенова В.М., Самоделкин Е.И. Физиология и патология системы дыхания у позвоночных животных. Пермь, 2011. 114 с. EDN: QIPJXX
4. Потапов П.К., Дмитриев Ю.В., Толкач П.Г. Структурно-функциональные нарушения дыхательной системы у лабораторных животных при интоксикации продуктами пиролиза хлорсодержащих полимерных материалов // Медицинский академический журнал. 2020. Т. 20. № 3. С. 13-22.
5. Stoll A., Shenton D.P., Green A.C., Holley J.L. Comparative Aspects of Ricin Toxicity by Inhalation // Toxins. 2023. No. 15(4). P. 281.
6. Толкач П.Г., Кузнецов О.А., Башарин В.А., Лодягин А.Н., Шилов Ю.В., Яценок А.В., Ивченко Е.В., Загородников Г.Г. Случай острого химического отека легких при ингаляционной интоксикации диоксидом азота // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2023. Т. 25. № 3. С. 471-479.
7. Васин М.В., Ильин Л.А., Чернов Ю.Н., Ушаков И.Б. Метаболическая коррекция церебрального радиационного синдрома у мелких и крупных животных // Радиационная биология. Радиоэкология. 2023. Т. 63. № 3. С. 255-260.
8. Тоншин А.А., Баринов В.А., Бонитенко Е.Ю., Белякова Н.А., Гайкова О.Н., Баринов В.В., Носов А.В. Экспериментальная оценка возможности применения жидкостной искусственной вентиляции лёгких для лечения профессиональных заболеваний, вызванных ингаляцией промышленных аэрозолей // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62. № 11. С. 747-754.
9. Вахрушева Т.И. Геморрагическая пневмония: постмортальная диагностика у кролика декоративной породы // Аграрный вестник Приморья. 2021. № 4 (24). С. 33-35.
10. Макарова М.Н., Макаров В.Г. Использование кроликов в доклинических исследованиях // Лабораторные животные для научных исследований. 2023. № 3. С. 18-43.
11. Gu X., Guo Z., Cai M., Shi Y., Wang S., Xie F. Paced Breathing and Respiratory Movement Responses Evoked by Bidirectional Constant Current Stimulation in Anesthetized Rabbits // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023. No. 10. P. 1109892.
12. Гончаров А.О., Дьяченко А.И., Шулагин Ю.А., Ермолов Е.С. Математическое моделирование хемо рецепторного механизма срыва задержки дыхания и экспериментальная оценка модели // Биофизика. 2017. Т. 62. № 4. С. 794-801.
13. Cinelli E., Mutolo D., Pantaleo T., Bongianni F. Neural mechanisms underlying respiratory regulation within the preBÖtzinger complex of the rabbit // Respiratory Physiology & Neurobiology. 2021. No. 293. P. 103736.
14. Torgeman A., Diamant E., Dor E., Schwartz A., Baruchi T., Ben David A., Zichel R. A Rabbit Model for the Evaluation of Drugs for Treating the Chronic Phase of Botulism // Toxins. 2021. No. 13(10). P. 679.
15. Драган С.П., Кезик В.И., Богомолов А.В., Дроздов С.В. Исследование изменения объема легких вследствие воздействия высокointенсивных акустических колебаний на резонансной частоте дыхательной системы // Биофизика. 2023. Т. 68. № 1. С. 125-133.
16. Макарова М.Н., Макаров В.Г. Использование кроликов в доклинических исследованиях // Лабораторные животные для научных исследований. 2023. № 3. С. 18-43.
17. Евлахов В.И., Поясов И.З., Березина Т.П. Влияние блокаторов кальциевых каналов t- и l-типа на микрогемодинамику легких при экспериментальной тромбоэмболии легочной артерии у кроликов // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2023. Т. 109. № 5. С. 643-655.
18. Шевченко М.О., Ковалев С.П., Асланов В.С., Рухлевич М.И. Анатомическая и гравитационная зависимость распределения аспирированного вещества в легких у домашних животных // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 296-301.
19. Токаев Т.К., Синицын М.В., Бикбаев А.С., Григорьев Т.Е., Загоскин Ю.Д., Штыхно А.О. Новые биосинтетические имплантанты для хирургического лечения туберкулеза легких // Лабораторные животные для научных исследований. 2023. № 2. С. 43-52.
20. Богданов В.К., Пашков И.В., Якунин Я.С., Стаканова Е.А., Оглы Гулуев А.З., Кулешов А.П., Есипова О.Ю., Грудинин Н.В. Разработка экспериментальной методики ортопотической трансплантации левого легкого на модели кролика // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2024. Т. 26. № 1. С. 140-148.
21. Драган С.П., Богомолов А.В., Кезик В.И., Дроздов С.В. Методические аспекты акустической импедансометрии легких
3. Osipov A.P., Aksenova V.M., Samodelkin E.I. Physiology and Pathology Of The Respiratory System In Vertebrates. Perm Publ., 2011. 114 p. (In Russ.).
4. Potapov P.K., Dimitriev Yu.V., Tolkach P.G. Structural and Functional Disorders of the Respiratory System in Laboratory Animals during Intoxication with Pyrolysis Products of Chlorine-Containing Polymeric Materials. Meditsinskiy Akademicheskiy Zhurnal = Medical Academic Journal. 2020;20;3:13-22 (In Russ.).
5. Stoll A., Shenton D.P., Green A.C., Holley J.L. Comparative Aspects of Ricin Toxicity by Inhalation. Toxins. 2023;15;4:281.
6. Tolkach P.G., Kuznetsov O.A., Basharin V.A., Lodygin A.N., Shilov Yu.V., Yazenok A.V., Ivchenko E.V., Zagorodnikov G.G. A Case of Acute Chemical Pulmonary Edema Due to Inhalation Intoxication with Nitrogen Dioxide. Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2023;25;3:471-479 (In Russ.).
7. Vasin M.V., Ilyin L.A., Chernov Yu.N., Ushakov I.B. Metabolic Correction of Cerebral Radiation Syndrome in Small and Large Animals. Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology. 2023;63;3:255-260 (In Russ.).
8. Tonshin A.A., Barinov V.A., Bonitenko E.Yu., Belyakova N.A., Gaikova O.N., Barinov V.V., Nosov A.V. Experimental Assessment of the Possibility of Using Liquid Artificial Lung Ventilation for the Treatment of Occupational Diseases Caused by Inhalation of Industrial Aerosols. Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya = Occupational Medicine and Industrial Ecology. 2022;62;11:747-754 (In Russ.).
9. Vakhrusheva T.I. Hemorrhagic Pneumonia: Postmortem Diagnosis in a Decorative Breed Rabbit. Agrarnyy Vestnik Primorya = Agrarian Bulletin of Primorye. 2021;24;4:33-35 (In Russ.).
10. Makarova M.N., Makarov V.G. The Use of Rabbits in Pre-clinical Research. Laboratornyye Zhivotnyye dlya Nauchnykh Issledovaniy = Laboratory Animals for Scientific Research. 2023;3:18-43 (In Russ.).
11. Gu X., Guo Z., Cai M., Shi Y., Wang S., Xie F. Paced Breathing and Respiratory Movement Responses Evoked by Bidirectional Constant Current Stimulation in Anesthetized Rabbits. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023;10:1109892.
12. Goncharov A.O., Dyachenko A.I., Shulagin Yu.A., Ermolaev E.S. Mathematical Modeling of the Chemo-Receptor Mechanism of Breath-Hold Disruption and Experimental Evaluation of the Model. Biofizika = Biophysics. 2017;62;4:794-801 (In Russ.).
13. Cinelli E., Mutolo D., Pantaleo T., Bongianni F. Neural Mechanisms Underlying Respiratory Regulation within the PreBÖtzinger Complex of the Rabbit. Respiratory Physiology & Neurobiology. 2021;293:103736.
14. Torgeman A., Diamant E., Dor E., Schwartz A., Baruchi T., Ben David A., Zichel R. A Rabbit Model for the Evaluation of Drugs for Treating the Chronic Phase of Botulism. Toxins. 2021;13;10:679.
15. Dragan S.P., Kezik V.I., Bogomolov A.V., Drosdov S.V. Study of Changes in Lung Volume Due to Exposure to High-Intensity Acoustic Vibrations at the Resonant Frequency of the Respiratory System. Biofizika = Biophysics. 2023;68;1:125-133 (In Russ.).
16. Makarova M.N., Makarov V.G. The use of rabbits in pre-clinical research. Laboratornyye Zhivotnyye dlya Nauchnykh Issledovaniy = Laboratory Animals for Scientific Research. 2023;3:18-43 (In Russ.).
17. Evlakhov V.I., Poyasov I.Z., Berezina T.P. The Influence of t- and l-type Calcium Channel Blockers on Pulmonary Microhemodynamics during Experimental Pulmonary Embolism in Rabbits. Rossiyskiy Fiziologicheskiy Zhurnal im. I.M. Sechenova = Russian Physiological Journal named after I.M.Sechenov. 2023;109;5:643-655 (In Russ.).
18. Shevchenko M.O., Kovalev S.P., Aslanov V.S., Rukhlevich M.I. Anatomical and Gravitational Dependence of the Distribution of Aspirated Substances in the Lungs of Domestic Animals. Mezdunarodnyy Vestnik Veterinarii = International Veterinary Bulletin. 2021;1:296-301 (In Russ.).
19. Tokaev T.K., Sinitsyn M.V., Bikbaev A.S., Grigoriev T.E., Zagoskin Yu.D., Shtykhno A.O. New Biosynthetic Implants for the Surgical Treatment Of Pulmonary Tuberculosis. Laboratornyye Zhivotnyye dlya Nauchnykh Issledovaniy = Laboratory Animals for Scientific Research. 2023;2;43-52 (In Russ.).
20. Bogdanov V.K., Pashkov I.V., Yakunin Ya.S., Stakhanova E.A., Ogly Guluev A.Z., Kuleshev A.P., Esipova O.Yu., Grudinin N.V. Development of an Experimental Technique for Orthotopic Transplantation of the Left Lung on a Rabbit Model. Vestnik Transplantologii i Iskusstvennykh Organov = Bulletin of Transplantology and Artificial Organs. 2024;26;1:140-148 (In Russ.).

- // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. V. 15. No. 2. P. 221-242.
22. Драган С.П., Богомолов А.В., Кезик В.И. Анализ импедансных характеристик дыхательной системы животных и человека // Российский журнал биомеханики. 2020. Т. 24, №2. С. 187-195.
23. Богомолов А.В., Драган С.П. Математическое обоснование акустического метода измерения импеданса дыхательного тракта // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464, № 5. С. 623.
24. Драган С.П., Кезик В.И., Богомолов А.В. Физиологические аспекты импедансометрии легких // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 2. С. 181-190.
25. Драган С.П., Богомолов А.В. Метод акустической импедансометрии дыхательного тракта // Медицинская техника. 2015. № 5 (293). С. 19-21.
26. Ивашин В.А., Кезик В.И., Соловьев В.П. Модифицированная методика оценки состояния легких у экспериментальных животных при экстремальных воздействиях // Саратовский научно-медицинский журнал. 2017. № 13(4). С. 907-912.
27. Ревякин И.М., Карелин Д.Ф., Ревякина Т.С. Основные сравнительно-анатомические особенности долевого строения легких у американской норки и кролика // Ветеринарный журнал Беларусь. 2023. № 2 (19). С. 113-115.
28. Рошина Е.А. Референсные интервалы по массовым коэффициентам органов кроликов и их абсолютным значениям // Лабораторные животные для научных исследований. 2022. № 1. С. 34-42.
29. Богомолов А.В., Драган С.П., Ерофеев Г.Г. Математическая модель поглощения звука легкими при акустической стимуляции дыхательной системы // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487, № 1. С. 97-101.
30. Кудряшов А.А., Левтеров Д.Е., Балабанова В.И. Патоморфология вирусной геморрагической болезни кроликов // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2022. № 3 (55). С. 88-93.
31. Oshima Y., Okazaki N., Funaki K., Otsuki A., Takahashi S., Harada T., Inagaki Y. Marathoners' Breathing Pattern Protects against Lung Injury by Mechanical Ventilation: an Ex Vivo Study Using Rabbit Lungs // Yonago Acta Medica. 2020. No. 63(4). Pp. 272-281.
32. Ивашин В.А., Соловьев В.П., Белогорлова О.В. Экспресс-оценка состояния легких у экспериментальных животных при экстремальных воздействиях // Медицина экстремальных ситуаций. 2008. № 1(23). С. 87-93.
33. Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced Oscillation Technique and Impulse Oscillometry. Lung Function Testing // European Respiratory Monograph. 2005. No. 31. P. 72-105.
34. Bickel S., Popler J., Lesnick B., Eid N. Impulse Oscillometry: Interpretation and Practical Applications // Chest. 2014. No. 146 (3). P. 841-847.
35. Леонтьева Н.М., Демко И.В., Собко Е.А., Ищенко О.П., Соловьева И.А. Информативность импульсной осциллометрии в диагностике нарушений функции внешнего дыхания у пациентов с бронхиальной астмой среднетяжелого течения // Профилактическая медицина. 2020. Т. 23, №4. С. 80-87.
21. Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kezik V.I., Drozdov S.V. Methodological Aspects of Acoustic Impedance Measurement of the Lungs. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023;15;2:221-242. (In Russ.).
22. Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kezik V.I. Analysis of Impedance Characteristics of the Respiratory System of Animals and Humans. Rossiyskiy Zhurnal Biomehaniki = Russian Journal of Biomechanics. 2020;24;2:187-195. (In Russ.).
23. Bogomolov A.V., Dragan S.P. Mathematical Substantiation of the Acoustic Method of Measuring the Impedance of the Respiratory Tract. Doklady Akademii Nauk = Reports of the Academy of Sciences. 2015;464;5:623 (In Russ.).
24. Dragan S.P., Kezik V.I., Bogomolov A.V. Physiological Aspects of Lung Impedancemetry. Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series. 2022;2:181-190 (In Russ.).
25. Dragan S.P., Bogomolov A.V. Method of Acoustic Impedanceometry of the Respiratory Tract. Meditsinskaya Tekhnika = Medical Technology. 2015;293;5:19-21 (In Russ.).
26. Ivashin V.A., Kezik V.I., Solovyov V.P. Modified Methodology for Assessing the Condition of the Lungs in Experimental Animals under Extreme Exposure. Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal = Saratov Medical Scientific Journal. 2017;13;4:907-912 (In Russ.).
27. Revyakin I.M., Karelin D.F., Revyakina T.S. The Main Comparative Anatomical Features of the Lobar Structure of the Lungs in the American Mink and Rabbit. Veterinarnyy Zhurnal Belarusi = Veterinary Journal of Belarus. 2023;19;2:113-115 (In Russ.).
28. Roshchina E.A. Reference Intervals for Mass Coefficients of Rabbit Organs and their Absolute Values. Laboratornyye Zhivotnyye dlya Nauchnykh Issledovaniy = Laboratory Animals for Scientific Research. 2022;1:34-42 (In Russ.).
29. Bogomolov A.V., Dragan S.P., Erofeev G.G. Mathematical Model of Sound Absorption by the Lungs During Acoustic Stimulation of the Respiratory System. Doklady Akademii Nauk = Reports of the Academy of Sciences. 2019;487;1:97-101 (In Russ.).
30. Kudryashov A.A., Levterov D.E., Balabanova V.I. Pathomorphology of Viral Hemorrhagic Disease of Rabbits. Aktual'nye Voprosy Veterinarnoy Biologii = Current Issues in Veterinary Biology. 2022;55;3:88-93 (In Russ.).
31. Oshima Y., Okazaki N., Funaki K., Otsuki A., Takahashi S., Harada T., Inagaki Y. Marathoners' Breathing Pattern Protects against Lung Injury by Mechanical Ventilation: an Ex Vivo Study Using Rabbit Lungs. Yonago Acta Medica. 2020;63;4:272-281.
32. Ivashin V.A., Solovyov V.P., Belogorlova O.V. Express Assessment of the State of the Lungs in Experimental Animals under Extreme Influences. Meditsina Ekstremal'nyh Situatsiy = Medicine of Extreme Situations. 2008;1:87-93 (In Russ.).
33. Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced Oscillation Technique and Impulse Oscillometry. Lung Function Testing. European Respiratory Monograph. 2005;31:72-105.
34. Bickel S., Popler J., Lesnick B., Eid N. Impulse Oscillometry: Interpretation and Practical Applications. Chest. 2014;146;3:841-847.
35. Leontyeva N.M., Demko I.V., Sobko E.A., Ishchenko O.P., Solovyova I.A. Informativeness of Pulse Oscillometry in the Diagnosis of Respiratory Dysfunction in Patients with Moderate Bronchial Asthma. Profilakticheskaya Meditsina = Preventive Medicine. 2020;23;4:80-87 (In Russ.).