

ности эффективного использования ИКТ для определения состояния и изменений микроциркуляции крови в коже хвоста лабораторных крыс. Установленные зависимости экспериментальных данных ЛДФ и ИКТ свидетельствуют о том, что результаты тепловизионного исследования можно использовать в качестве критерия для прогностической оценки состояния и степени выраженности изменений кожного периферического кровотока у лабораторных крыс.

Конфликт интересов не заявляется.

Авторский вклад: концепция и дизайн исследования, получение и анализ данных — А. В. Даценко, Т. В. Фомина, И. А. Дёшин; интерпретация результатов — А. В. Даценко, Т. В. Фомина, И. А. Дёшин, В. И. Казьмин; написание статьи — А. В. Даценко, Т. В. Фомина; утверждение рукописи — А. В. Даценко.

References (Литература)

1. Chernuh AM, Aleksandrov PN, Alekseev OV. Mikrocirkuljacija. M.: Meditsina, 1984; 432 p. Russian (Чернух А. М., Александров П. Н., Алексеев О. В. Микроциркуляция. М.: Медицина, 1984; 432 с.).
2. Krupatkin AI, Sidorov VV, eds. Lazernaja dopplerovskaja floumetrija mikrocirkuljacji krvi: Rukovodstvo dlja vrachej. M.: Meditsina, 2005; 256 p. Russian (Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: руководство для врачей / под ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. М.: Медицина, 2005; 256 с.).
3. Kozlov VI, Azizov GA, Gurova OA, Litvin FB. Lazernaja dopplerovskaja floumetrija v ocenke sostojanija i rasstrojstv mikrocirkuljacji krvi. M.: Peoples' Friendship University of Russia, 2012; 32 p. Russian (Козлов В. И., Азизов Г. А., Гурова О. А., Литвин Ф. Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке

состояния и расстройств микроциркуляции крови. М.: РУДН, 2012; 32 с.).

4. Skripal AV, Sagaydachnyy AA, Usanov DA. Teplovizionnaya biomeditsinskaya diagnostika. Saratov: Saratov University, 2009; 118 p. Russian (Скрипаль А. В., Сагайдачный А. А., Усанов Д. А. Тепловизионная биомедицинская диагностика. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2009; 118 с.).

5. Ring EF, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas* 2012; 33 (3): R33–46.

6. Rekant SI, Lyons MA, Pacheco JM, et al. Veterinary applications of infrared thermography. *Am J Vet Res* 2016; 77 (1): 98–107.

7. Datsenko AV, Kazmin VI. Use of a remote infrared thermography in experimental medicine at extreme influences (review). *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2016; 12 (4): 685–691. Russian (Даценко А. В., Казьмин В. И. Использование дистанционной инфракрасной термографии в экспериментальной медицине при экстремальных воздействиях (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2016; 12 (4): 685–691).

8. Lecorps B, Rödel HG, Féron C. Assessment of anxiety in open field and elevated plus maze using infrared thermography. *Physiol Behav* 2016; 157: 209–216.

9. Samoilov AS, Kulchitskaya DB, Kolbakhova SN. Optimal frequency characteristics of impulse laser in treatment of patients with atherosclerosis of blood vessels in lower extremities. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2016; 12 (4): 599–601. Russian (Самойлов А. С., Кульничкая Д. Б., Колбахова С. Н. Выбор оптимальных частотных характеристик импульсных лазерных воздействий для лечения больных атеросклерозом сосудов нижних конечностей. Саратовский научно-медицинский журнал 2016; 12 (4): 599–601).

10. Vainer BG, Morozov VV. Infrared thermography-based biophotonics: Integrated diagnostic technique for systemic reaction monitoring. *Physics Procedia* 2017; 86: 81–85.

УДК 613.6

Оригинальная статья

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕГКИХ У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В. А. Ивашин — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, ведущий научный сотрудник, кандидат медицинских наук; **В. И. Кезик** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, старший научный сотрудник; **В. П. Соловьев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, ведущий научный сотрудник, кандидат медицинских наук.

THE MODIFIED ASSESSMENT TECHNIQUE OF THE CONDITION OF LUNGS AT THE EXPERIMENTAL ANIMALS AT EXTREME EXPOSURES

V. A. Ivashin — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Leading Researcher, Candidate of Medical Sciences; **V. I. Kezik** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Senior Researcher; **V. P. Solovyev** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Leading Researcher, Candidate of Medical Sciences.

Дата поступления — 9.11.2017 г.

Дата принятия в печать — 21.12.2017 г.

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): 907–912.

Цель: разработать модифицированную методику измерения комплекса биофизических показателей легких, позволяющую оценить степень их поражения (от легкой, средней до тяжелой) и за короткое время провести экспресс-оценку состояния легких у большого количества экспериментальных животных разных видов при различных экстремальных воздействиях для последующей экстраполяции этих данных на человека. **Материал и методы.** Работа выполнена на кроликах породы шиншилла массой 2,5–3,0 кг и овцах массой 25–35 кг. Определяли массу легких и их объем, затем рассчитывали величины биофизических показателей: удельную плотность воздушных и спавшихся легких; их соотношение — показатель АЛЬФА; объем остаточного воздуха в легких. **Результаты.** Получены значения основных биофизических показателей легких экспериментальных животных в норме. Разработана шкала оценки состояния и степени поражения легких экспериментальных животных по сравнению с контролем. **Заключение.** Предложенная методика экспресс-оценки состояния легких по биофизическим показателям позволяет быстро и объективно выявить значимые поражения легких у лабораторных животных. Простота проведения и доступный набор необходимого оборудования дают возможность использовать данную методику при проведении исследований в области экспериментальной патологии легких.

Ключевые слова: легкие, экспериментальные животные, патологические изменения, удельная плотность.

Ivashin VA, Kezik VI, Solovyev VP. The modified assessment technique of the condition of lungs at the experimental animals at extreme exposures. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2017; 13 (4): 907–912.

Purpose: to develop a modified method of measuring a set of biophysical indices of the lungs elaborated, which allows to assess the extent of their lesions from mild, moderate to severe. This technique allows for a short time to conduct a rapid assessment of the lungs of a large number of experimental animals of different species under varying extreme influences for the subsequent extrapolation of these data to humans. **Material and Methods.** The study was conducted using Chinchilla rabbits weighing 2.5–3.0 kg, and sheep weighing 25–35 kg. Lung mass and volume were defined, and values of biophysical indices were calculated: specific density of air-filled and collapsed lungs; their ratio — ALPHA index; residual volume. **Results.** The values of main lung biophysical indices of experimental animals in norm were received. The scale of lung condition estimate and degree of injury of experimental animals as compared with the control group was developed. **Conclusion.** The given technique of rapid estimate of the lung condition according to biophysical indices allows to give a rapid and objective assessment of significant lung injuries in experimental animals. Easy realization and availability of necessary equipment enable to use this technique in the studies of experimental lung pathology.

Key words: lungs, experimental animals, pathological changes, specific density.

Введение. Экспериментальная оценка ситуаций экстремального воздействия химических, газоаэрозольных, акустических, ударно-акустических факторов свидетельствует о необходимости использования методик, характеризующих в количественном выражении те изменения, которые возникают в организме биообъектов при кратковременной экспозиции агрессивного фактора.

Известно, что дыхательная система человека и животных является наиболее чувствительной и быстро реагирующей на целый ряд воздействий разной модальности. В частности, многолетние исследования эффектов биологического действия факторов, генерируемых в результате подрыва светозвуковых гранат, показали возможность возникновения патологических изменений в легких, имеющих скрытый характер.

Патоморфологическая оценка состояния легких экспериментальных животных после ударно-акустического воздействия выявила следующие основные изменения и их сочетания: ателектазы; вздутие тотальное или буллезное; полнокровие; отек; поверхностные и внутренние геморрагии; изменение способности спадаться.

Патоморфологическая оценка этих признаков достаточно субъективна и не поддается количественной оценке. В связи с этим была разработана и используется в течение ряда лет методика [1] измерения биофизических показателей функционального состояния легких кроликов и овец, подвергшихся кратковременному акустическому и ударно-акустическому воздействию. Необходимо подчеркнуть, что применение данной методики позволяет за короткое время провести с достаточной точностью экспресс-оценку состояния легких у большого количества экспериментальных животных при различных воздействиях. Однако эта методика имеет ограничения, связанные со снижением точности измерений легких у мелких лабораторных животных (крысы, морские свинки, мыши) и отдельных фрагментов легких.

С целью повышения точности измерений биофизических показателей для любого объема исследуемого легкого методика была модифицирована.

В числе биофизических показателей следующие:

— удельная плотность воздушных легких (УПВЛ), извлеченных из грудной клетки с предварительно перерезанной трахеей;

— удельная плотность спавшихся легких (УПСЛ) с выпущенным воздухом при снятии зажима с трахеи;

— объем остаточного воздуха (ООВ) в легких, т.е. объем воздуха, свободно выходящего из легких при открытой трахее, который определяется как разность объемов воздушных и спавшихся легких;

— отношение удельных плотностей воздушных и спавшихся легких — показатель АЛЬФА.

Измерение этих показателей происходит по следующей схеме. Лабораторное животное (кролики, овцы) забивают методом неполной декапитации с сохранением целостности трахеи. Трахею пережимают зажимом. Извлекают органокомплекс — сердце-легкие из грудной полости. Удаляют остатки пищевода и сосудов. У овец трахею укорачивают до 50 мм.

Затем производится измерение плотности извлеченных органов. В процессе развития методики измерения плотности извлеченных органов лабораторных животных в направлении повышения ее точности достигнут определенный прогресс. В данной статье излагается модифицированная методика измерения объема и плотности биообъектов.

Цель применения модифицированной методики: повышение точности измерения плотности биообъектов и последующая более точная и объективная оценка состояния легких.

Материал и методы. В работе применяется модифицированная методика измерения объема и плотности биообъектов.

Общий принцип измерения плотности биообъектов поясним на примере тела, средняя плотность которого более 1 г/мл (тяжелее воды). По существу, здесь реализуется модифицированный вариант широко известного метода гидростатического взвешивания [2, 3].

Сначала с помощью электронных весов определяем вес исследуемого тела, который обозначим как M_1 .

Затем на измерительную платформу электронных весов, стоящих на лабораторном столе, устанавливаем емкость, заполненную дистиллированной водой до определенного уровня. Регистрируем показание весов. Обозначим его как M_{11} (вес емкости с водой).

Подвешиваем исследуемое тело на тонкую нить, прикрепленную к горизонтальной перекладине лабораторного штатива, стоящего на столе. Натяжение нити в состоянии равновесия будет равно весу тела.

Погрузим это тело на нити в воду, заполняющую описанную выше емкость. Тело должно находиться ниже поверхности воды (быть полностью погружено в воду) и не касаться дна и стенок сосуда. На тело,

Ответственный автор — Кезик Владимир Иванович
Тел.: +79031499841
E-mail: vladimirik57@mail.ru

погруженное в воду, со стороны воды будет действовать выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом воды (весу воды в объеме тела). Теперь натяжение нити в состоянии равновесия будет равно весу тела минус вес воды в объеме тела.

Со стороны погруженного тела на воду в емкости будет действовать сила, равная по величине выталкивающей силе, но направленная в противоположную сторону. Благодаря этой силе показание электронных весов увеличится на величину веса воды в объеме тела. Обозначим это показание весов как M_{12} (вес емкости с водой + вес воды в объеме исследуемого тела). Таким образом, вес воды (в граммах) в объеме тела определится разностью $M_{12} - M_{11}$, объем же тела и его плотность определяются по формулам:

$$V_T = (M_{12} - M_{11}) / \rho_{H_2O}$$

и

$$\rho_T = M_T / V_T,$$

где ρ_{H_2O} — плотность дистиллированной воды при температуре измерения.

На основании изложенного принципа измерения объема тел предлагается следующая схема измерения плотности биообъектов.

Как и ранее, определяем вес исследуемого тела, который обозначим как M_T .

На измерительную платформу электронных весов устанавливаем емкость, заполненную дистиллированной водой до определенного уровня.

Вспользуемся специальным приспособлением в виде клетки из тонкой проволоки, жестко соединенной с утяжелителем. Утяжелитель с клетью с помощью тонкой малорастяжимой нити подвешивается к горизонтальной перекладине лабораторного штатива (рис. 1).

Глубина погружения клетки в воду регулируется с помощью длины нити или путем перемещения муф-

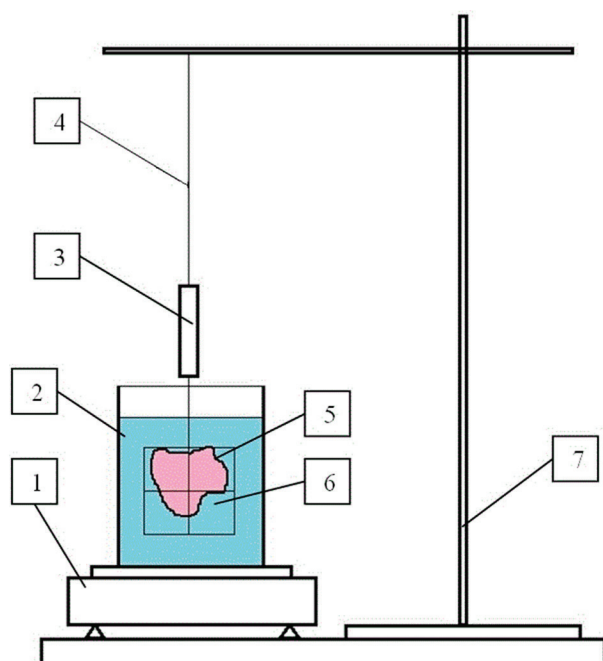


Рис. 1. Схема измерения объема биообъектов: 1 — электронные весы; 2 — емкость, заполненная водой; 3 — утяжелитель клетки; 4 — тонкая малорастяжимая нить; 5 — исследуемый биообъект; 6 — клеть из тонкой проволоки; 7 — лабораторный штатив

ты, удерживающей горизонтальную перекладину на вертикальном стержне штатива. Клеть должна находиться ниже поверхности воды (быть полностью скрыта под водой) и не касаться дна и стенок сосуда. В этом положении клетки после успокоения колебаний регистрируем показание весов. Обозначим его как M_{21} (вес емкости с водой + вес воды, вытесненной проволоочным каркасом клетки).

Вынимаем клеть из воды, помещаем в нее исследуемый биообъект, плотность которого может быть как больше, так и меньше плотности воды, и опускаем клеть в прежнее положение под водой. Вес утяжелителя должен быть достаточным для того, чтобы клеть с биообъектом не всплывала (в случае, если плотность биообъекта меньше плотности воды).

После успокоения колебаний регистрируем показание весов. Обозначим его как M_{22} (вес емкости с водой + вес воды в объеме исследуемого тела + вес воды, вытесненной проволоочным каркасом клетки).

Таким образом, вес воды (в граммах) в объеме тела определится разностью $M_{22} - M_{21}$, объем же тела и его плотность определяются по формулам:

$$V_T = (M_{22} - M_{21}) / \rho_{H_2O}$$

и

$$\rho_T = M_T / V_T,$$

где ρ_{H_2O} — плотность дистиллированной воды при температуре измерения. Значения ρ_{H_2O} можно брать из таблиц стандартных справочных данных [4] либо из [5].

У большинства электронных весов имеется функция «работа с тарой». При определении объема исследуемого биообъекта можно воспользоваться этой функцией. Для этого во время измерения M_{21} нужно нажать клавишу «вкл/ноль». На индикаторе весов установятся нулевые показатели. Теперь вес M_{21} будет автоматически компенсироваться при дальнейшей работе с весами. Измерение M_{22} сразу определит вес вытесненной исследуемым телом воды в граммах. Объем и плотность тела определяются по формулам, аналогичным приведенным выше.

Описанный метод измерения плотности биообъектов обладает существенно более высокой точностью, чем использованный в работе [1], что позволяет применять его для определения плотности легких мелких лабораторных животных.

Результаты. Применение модифицированной методики измерения объема и плотности биообъектов для воздушных и спавшихся легких.

Сначала измеряется вес и объем воздушных легких. Удельная плотность воздушных легких (УПВЛ) определяется по формуле:

$$\text{УПВЛ (г/см}^3\text{)} = M (\text{г}) / V_v (\text{см}^3),$$

где $M (\text{г})$ — вес легких; V_v — объем воздушных легких.

После этого надсекают трахею в месте бифуркации, выпускают из легких воздух и измеряют объем спавшихся легких.

Удельная плотность спавшихся легких (УПСЛ) определяется по формуле:

$$\text{УПСЛ (г/см}^3\text{)} = M (\text{г}) / V_{\text{сп}} (\text{см}^3),$$

где $V_{\text{сп}}$ — объем спавшихся легких.

Объем остаточного воздуха (ООВ) определяется как разность объемов воздушных и спавшихся легких:

$$\text{ООВ (мл)} = V_v \text{ (мл)} - V_{\text{сп}} \text{ (мл)}.$$

Показатель АЛЬФА определяется как отношение удельной плотности воздушных легких к удельной плотности спавшихся легких, выраженное в процентах:

$$\text{АЛЬФА} = (\text{УПВЛ} / \text{УПСЛ}) \times 100\%.$$

Возможно также измерение удельной плотности спавшихся легких отдельных долей (верхних или нижних отделов, правого или левого легкого) в зависимости от поставленной задачи и цели эксперимента.

Обсуждение. Оценка поражения легких по биофизическим показателям. Измеряемые и расчетные биофизические показатели легких достаточно стабильны в однородных группах животных и мало зависят от массы и размера легких. На основании собственных данных составлена таблица значений удельных плотностей легких, их объемов, массы, а также показателей АЛЬФА и ООВ для кроликов и овец в норме (табл. 1). В табл. 1 также представлены аналогичные значения для человека по литературным данным [6].

Нами получены кривые вероятностного распределения основных биофизических показателей легких кроликов и овец в норме.

Выбор количественных критериев, позволяющих относить те или иные отклонения к категории значимых сдвигов, не является однозначным, и критические уровни значимости сдвигов определяются лишь договоренностью (правилами игры) [7].

При нормировании воздействия химических веществ критериальным является удвоенное значение среднеквадратичной ошибки от среднестатистической величины для данного вида животных и данного времени года [8]. Эта критериальная опорная точка (удвоенное значение среднеквадратичной ошибки), как наиболее жесткая, была апробирована и введена в классификацию патологического состояния легких по биофизическим показателям.

При сопоставлении результатов оценки состояния легких разными методами с данными, полученными по предложенной методике, определены величины значимых изменений биофизических показателей легких, соответствующие разной степени их поражения. Эти величины, определяющие степени тяжести поражения, приведены в табл. 2.

Таким образом, в соответствии с предлагаемой методикой сначала устанавливаются биофизические показатели животных из контрольной группы. Для каждого показателя определяются его среднее значение и границы доверительного интервала при доверительной вероятности, равной 95%. До-

Таблица 1

Средние значения основных биофизических показателей легких в норме

Объект	Масса легкого, г	Объем воздушных легких, мл	Объем спавшихся легких, мл	Удельная плотность воздушных легких, г/см ³	Удельная плотность спавшихся легких, г/см ³	АЛЬФА, %	Объем остаточного воздуха, мл
Человек	1169	4500	1983	0,260	0,590	44,1	2517
Овца	322	928	459	0,347	0,702	49,4	469
Кролик	10,74	28,6	19	0,375	0,566	66,3	10

Таблица 2

Критерии поражения легких по биофизическим показателям

По удельной плотности воздушных и спавшихся легких					
Признаки вздутия легких			Признаки отека, повышенного кровенаполнения		
Степень поражения			Степень поражения		
Тяжелая (3 степень), %	Средняя (2 степень), %	Легкая (1 степень), %	Легкая (1 степень), %	Средняя (2 степень), %	Тяжелая (3 степень), %
$\Delta_{(-)} \leq -20$	$-20 < \Delta_{(-)} \leq -10$	$-10 < \Delta_{(-)} \leq -5$	$+5 \leq \Delta_{(+)} < +10$	$+10 \leq \Delta_{(+)} < +20$	$\Delta_{(+)} \geq +20$
По изменениям ООВ					
Признаки нарушения вентиляции			Признаки предпатологии		
Степень поражения			Степень поражения		
Тяжелая (3 степень), %	Средняя (2 степень), %	Легкая (1 степень), %	Легкая (1 степень), %	Средняя (2 степень), %	Тяжелая (3 степень), %
$\Delta_{(-)} \leq -40$	$-40 < \Delta_{(-)} \leq -20$	$-20 < \Delta_{(-)} \leq -5$	$+5 \leq \Delta_{(+)} < +20$	$+20 \leq \Delta_{(+)} < +40$	$\Delta_{(+)} \geq +40$
По изменениям показателя АЛЬФА					
Признаки вздутия легких			Признаки отека, ателектаза, повышенного кровенаполнения		
Степень поражения			Степень поражения		
Тяжелая (3 степень), %	Средняя (2 степень), %	Легкая (1 степень), %	Легкая (1 степень), %	Средняя (2 степень), %	Тяжелая (3 степень), %
$\Delta_{(-)} \leq -30$	$-30 < \Delta_{(-)} \leq -20$	$-20 < \Delta_{(-)} \leq -10$	$+10 \leq \Delta_{(+)} < +20$	$+20 \leq \Delta_{(+)} < +30$	$\Delta_{(+)} \geq +30$

верительный интервал для единичного измерения устанавливается стандартными методами (с учетом объема выборки, определяющей соответствующий коэффициент Стьюдента). Верхняя граница доверительного интервала определяет верхнюю границу нормы для данного показателя, а нижняя граница доверительного интервала определяет нижнюю границу нормы для этого показателя.

Оценка степени индивидуальных изменений биофизических показателей под действием различных факторов проводится путем сравнения каждого отдельного значения с верхней или нижней границей доверительного интервала для того же показателя в контроле в % (см. табл. 2).

Если значение биофизического показателя оказалось выше верхней границы нормы в контроле, то отклонение этого показателя от верхней границы нормы в контроле, выраженное в процентах, рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_{(+)} \% = \left(\frac{\text{значение показателя в опыте}}{\text{значение верхней границы нормы показателя в контроле}} \times 100\% - 100\% \right)$$

Если значение биофизического показателя оказалось ниже нижней границы нормы в контроле, то отклонение этого показателя от нижней границы нормы в контроле, выраженное в процентах, рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_{(-)} \% = \left(\frac{\text{значение показателя в опыте}}{\text{значение нижней границы нормы показателя в контроле}} \times 100\% - 100\% \right)$$

При этом значение $\Delta_{(-)} \%$ является отрицательным.

Например, если доверительный интервал в контроле для удельной плотности воздушных легких определен как $0,328 < \text{УПВЛ} < 0,370$, а в опыте получено значение $\text{УПВЛ} = 0,415$, то отклонение показателя от верхней границы нормы составляет $\Delta_{(+)} \% = 0,415 / 0,370 \times 100\% - 100\% = +12\%$.

Если опытное значение удельной плотности воздушных легких меньше нижней границы доверительного интервала, например $\text{УПВЛ} = 0,258$, то $\Delta_{(-)} \% = 0,258 / 0,328 \times 100\% - 100\% = -21,4\%$.

Для приведенных примеров определения $\Delta\%$ для УПВЛ в табл. 2 даются следующие степени поражения легких: значению $\Delta_{(+)} \% = +12\%$ соответствует средняя степень поражения, а легкие имеют признаки отека или повышенного кровенаполнения; значение $\Delta_{(-)} \% = -21,4\%$ соответствует тяжелой степени поражения легких и указывает на их вздутие.

По величине отклонения $\Delta\%$ каждого биофизического показателя от его значения в контроле определяется степень поражения легких по каждому показателю, а также характер произошедших в легких изменений. Так, уменьшение удельной плотности легких свидетельствует об их вздутии, а увеличение этого показателя говорит о повышении кровенаполнения или отеке легких.

Аналогичным образом проводится анализ и по другим показателям.

Используемый при анализе поражения легких показатель ООВ характеризует их состояние после проведения эксперимента. Малое по сравнению с контролем значение ООВ указывает на ухудшение функционального состояния легких в результате явных или скрытых эффектов поражения, таких как

снижение эластичности, отеки, нарушения кровообращения и другие морфологические изменения. При больших значениях ООВ, по сравнению с контролем, наблюдаются эмфизематозные нарушения в структуре легочной паренхимы: вздутие легких, часто с закупоркой воздухоносных путей.

Биофизические показатели легких животных контрольных и опытных групп подлежат сравнению в первую очередь по характеру вероятностного распределения, который указывает на однородность реакции на воздействие всех животных опытной группы либо на неоднородность реагирования, обусловленную индивидуальными особенностями реагирования с различными последствиями при воздействии сопоставимых параметров или неоднородностью экстремального воздействия на экспериментальных животных.

Оценку поражения легких по биофизическим показателям необходимо проводить комплексно по совокупности их изменений. В числе основных вариантов изменений биофизических показателей экспериментальных животных по сравнению с контролем могут быть следующие:

1) увеличение показателя АЛЬФА при уменьшении удельной плотности спавшихся легких, остающейся без изменений удельной плотности воздушных легких и ООВ свидетельствует о наличии эмфизематозного процесса в легких с закупоркой мелких бронхов;

2) увеличение показателя АЛЬФА при увеличении удельной плотности воздушных и остающейся без изменений удельной плотности спавшихся легких. При таком соотношении биофизических показателей имеет место ателектаз легких;

3) снижение показателя АЛЬФА при увеличении удельной плотности спавшихся легких и остающейся в норме удельной плотности воздушных легких свидетельствует о наличии кровоизлияний;

4) снижение показателя АЛЬФА при неизменной удельной плотности спавшихся легких и уменьшении удельной плотности воздушных свидетельствует о вздутии легких;

5) АЛЬФА остается неизменной при одновременном увеличении удельных плотностей воздушных и спавшихся легких при отеке или кровоизлияниях;

6) АЛЬФА не изменяется при одновременном уменьшении удельных плотностей воздушных и спавшихся легких, если происходит вздутие легких.

Наглядно все эти случаи можно продемонстрировать на кумулятивных кривых распределения изучаемых показателей в контроле и опыте. Так, на рис. 2 представлены такие кумулятивные кривые для УПВЛ (а) и УПСЛ (б) для кроликов контрольной группы (ряд 1) и в опытных группах, находившихся в различных условиях вредного воздействия (ряды 2 и 3). В данном случае очевидно, что животные при более интенсивном воздействии (ряд 3) получили более серьезные повреждения.

Заключение Таким образом, предложенная методика экспресс-оценки состояния легких по биофизическим показателям позволяет быстро и объективно выявить значимые поражения легких у большого количества экспериментальных животных.

Простота проведения и доступный набор необходимого оборудования дают возможность использовать данную методику широкому кругу исследователей, работающих в области экспериментальной патологии легких.

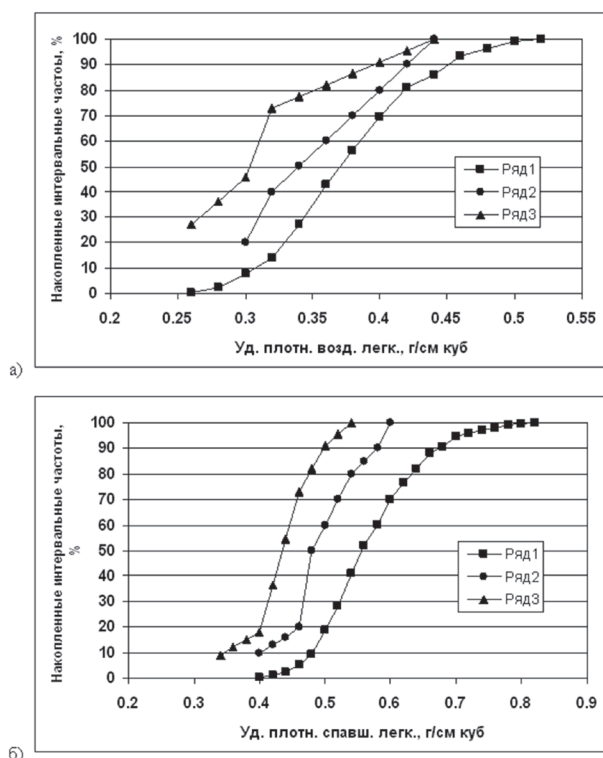


Рис. 2. Кумулятивные кривые распределения показателей УПВЛ (а) и УПСЛ (б) кроликов в контроле (ряд 1 — квадраты) и в опытах с различной степенью вредного воздействия (ряд 2 — кружки и ряд 3 — треугольники)

Следует отметить, что эта методика использована авторами в экспериментах при воздействии на лабораторных животных пиковых концентраций аэрозолей, а также экстремальных акустических колебаний широкого диапазона частот.

Оценка патологических изменений легких по биофизическим показателям качественно приближается к наиболее тонким (гистологическим) методам, давая при этом количественную оценку степени поражения легких.

Конфликт интересов отсутствует.

Авторский вклад: концепция и дизайн исследования — В. А. Ивашин; получение данных, обработка и анализ данных, написание статьи — В. А. Ивашин, В. И. Кезик, В. П. Соловьев; утверждение рукописи для публикации — В. А. Ивашин.

References (Литература)

1. Ivashin VA, Solovyev VP, Belogorlova OV. Rapid estimate of lung condition of experimental animals in extreme environment. *Medicine of Extreme Situations* 2008; 1 (23): 87–93. Russian (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): 87–93).
2. GOST 15139–69 Metody opredeleniya plotnosti (objemnoy massy). Russian (ГОСТ 15139–69 Методы определения плотности (объемной массы). М., 1969).
3. Gauzner SI, Kivilis SS, Osokina AP, Pavlovskiy AN. Izmerenie massy, objema i plotnosti. M.: Izdatelstvo standartov, 1972; 624 p. Russian (Гаузнер С. И., Кивилис С. С., Осокина А. П., Павловский А. Н. Измерение массы, объема и плотности. М.: Издательство стандартов, 1972; 624 с.).
4. GSSSD 2–77 Tablitsy standartnykh spravochnykh dannykh. Voda. Plotnost' pri atmosferom davlenii i temperaturakh ot 0 do 100 gradusov Tselsiya. Russian (ГСССД 2–77 Таблицы стандартных справочных данных. Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 градусов Цельсия. М., 1977).
5. GOST 31992.1–2012 (ISO 2811–1:2011) Materialy lakokrasochnye. Metod opredeleniya plotnosti. 1. Pikhometricheskii metod. Russian (ГОСТ 31992.1–2012 (ISO 2811–1:2011) Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности. Часть 1. Пикнометрический метод. М., 2012).
6. Chelovek: Mediko-biologicheskie dannye. M.: Meditsina, 1977; p. 164–168. Russian (Человек: Медико-биологические данные. М.: Медицина, 1977; с. 164–168).
7. Nalimov VV. Teoriya eksperimeta. M.: Nauka, 1971; 207 p. Russian (Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971; 207 с.).
8. Trakhtenberg IM. Problema normy i kriteriev otsenki vozdeystviya na organizm faktorov proizvodstvennoy sredy. *Gigiena truda i prof. zabolovaniya* 1980; 6: 38–41. Russian (Трахтенберг И. М. Проблема нормы и критериев оценки воздействия на организм факторов производственной среды. *Гигиена труда и проф. заболевания* 1980; 6: 38–41).