

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОЙ СВЧ РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АЛЬВЕОЛЯРНО-КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Терехов И.В.<sup>1</sup>, Солодухин К.А.<sup>1</sup>, Аржников В.В.<sup>2</sup>, Лифшиц В.Б.<sup>2</sup>, Ицкович В.О.<sup>2</sup>, Никифоров В.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Саратовский военно-медицинский институт (филиал) ФГОУ ВПО «Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова» МО РФ, кафедра терапии. 410017, г.Саратов, Ильинская пл., 17, e-mail: [trft@mail.ru](mailto:trft@mail.ru); <sup>2</sup>ФГОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет Росздрава», кафедра педиатрии. 410000, г.Саратов, ул. Большая Казачья, 112; <sup>3</sup>ФГОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М.Кирова» МО РФ, кафедра военно-морской и госпитальной терапии. 198013, г. Санкт-Петербург, Загородный пр., 47.

### **Резюме**

В работе исследуется связь альвеолярно-капиллярной проницаемости с интенсивностью излучения биотканей в СВЧ-диапазоне, в условиях экспериментального адреналинового (гемодинамического) отека легких. Показано, что интенсивность СВЧ излучения органов грудной клетки пропорциональна выраженности альвеолярно-капиллярных нарушений, характеризующихся легочным индексом ( $r=0,98$ ).

Получено регрессионное уравнение связи интенсивности СВЧ излучения и степени отека легких, определяемого по легочному индексу (соотношению массы легких к массе тела животного), а так же предложен способ радиометрической оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости у лабораторных животных. Информативность оценки ОЛ составляет 93,1% (95% ДИ 91,1-95,3%), чувствительность - 85,3%, специфичность - 96,2%.

Ключевые слова: транскапиллярный обмен воды, СВЧ-радиометрия, отек легких, мониторинг.

## **ESTIMATION OF ALVEOLAR-CAPILLARY STATUS WITH HELP BY ACTIVE MICROWAVE RADIOMETRY**

Terekhov I.V.<sup>1</sup>, Solodukhin K.A.<sup>1</sup>, Arzhnikov V.V.<sup>2</sup>, Lifshits V.B.<sup>2</sup>, Itskovich V.O.<sup>2</sup>, Nikiforov V.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saratov military-medical institute, 410017 Russia, Saratov, Ilyinskaya pl., 17, e-mail: [trft@mail.ru](mailto:trft@mail.ru); <sup>2</sup>Saratov state medical university, 410000 Russia, Saratov,

Bolshaya Kazachya str., 112. <sup>3</sup>S.M.Kirov's Military medical academy, Naval and Hospital Department, 198013, Saint Petersburg, Zagorodny, 47.

### Resume

In study communication of alveolar-capillary permeability with intensity of radiation in a microwave - range, registered with a surface of a thorax at rats is investigated at experimental adrenergic (hemodynamic) a hypostasis easy. It is shown, that intensity of radiation of fabrics of a thorax in the microwave - range is proportional to expressiveness of a hypostasis easy ( $r=0,98$ ).

It is received regression equation of communication of intensity of radiation and a degree of an experimental hypostasis easy, determined on pulmonary index (to a ratio of weight easy to weight of a body of an animal). The formula of a radiometric estimation of a condition of alveolar-capillary permeability is offered.

Key words: transcapillary metabolism of water, the microwave - radiometry, pulmonary edema.

Достижения фундаментальной науки и разработки в области радиоэлектроники создали предпосылки для внедрения технологических инноваций в различные сферы практической деятельности, в том числе медицину. Появление малогабаритных и недорогих сверхвысокочувствительных приемников радиоизлучения (радиометров), аналоги которых используются в радиоастрономии, космических технологиях и системах радиосвязи, обусловило возможность использования радиометрических технологий для исследования электромагнитных проявлений функционирования живых организмов.

Одной из таких технологий, позволяющих регистрировать маломощное радиоизлучение живых объектов, является активная сверхвысокочастотная (СВЧ) радиометрия [2, 3].

Целью исследования являлось изучение возможности неинвазивной оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости с помощью активной радиометрии в СВЧ-диапазоне.

### **Методика исследования**

Исследование проводилось на 45 крысах Wistar обоего пола массой 200-230 г., находившихся в контролируемых условиях не менее 2-х недель до эксперимента. Исследование проведено в соответствии с «Хельсинской декларацией о гуманном отношении к животным», под контролем

локального этического комитета института. Изучение возможности неинвазивной оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости с помощью активной СВЧ радиометрии осуществлялось на модели адреналинового отека легких [4]. Животные обоего пола были рандомизированы на 3 группы по 15 крыс в каждой. В I-й группе для моделирования летального отека использовалась доза адреналина 2,6 мг/кг, при этом гибель указанных животных наблюдалась на  $500 \pm 30$  секунде от момента введения адреналина. Животным II-й группы, для моделирования нелетального отека адреналин вводился в дозе 0,5 мг/кг, крысы выводились из эксперимента путем краниальной дислокации спустя 8 минут после инъекции. Контрольная группа включала 15 животных, находившихся в сходных с животными I и II групп условиях содержания и вскармливания.

Для оценки степени развития отека легких (ОЛ) сразу после гибели животных быстро выделялись легкие, и определялся их чистый вес [4]. Развитие ОЛ оценивалось по следующим показателям: 1) макроскопические кровоизлияния в виде геморрагических участков и пятен в легком; 2) пена или жидкость, выходящая изо рта либо трахеи. Отсутствие ОЛ диагностировалось в случае отсутствия поступления пены из трахеи при сдавлении ткани легкого. Тяжесть ОЛ определялась по легочному индексу (ЛИ = вес легкого  $\times$  100 / масса тела).

Используемый для оценки интенсивности стимулированного СВЧ-излучения органов грудной полости животных радиоэлектронный комплекс «Аквафон» (ООО «Телемак», г.Саратов) сертифицирован и внесен в реестр медицинской техники и изделий медицинского назначения (номер регистрационного удостоверения 07292).

Комплекс состоит из сверхвысокочастотного (СВЧ) модуляционного радиометра прямого усиления, настроенного на прием радиоволн в полосе частот  $1000 \pm 25$  МГц чувствительностью  $\sim 10^{-16}$  Вт и приемно-излучающего модуля, включающего источник зондирующего крайневысокочастотного (КВЧ) излучения частотой 65 ГГц (плотность потока мощности менее 1 мВт/см<sup>2</sup>) и приемной аппликаторной антенны [2, 3].

Метод активной радиометрии заключается в зондировании исследуемой области организма внешним КВЧ излучением на резонансной частоте водосодержащих сред (65 ГГц) [1]. Указанное воздействие сопровождается возбуждением в водосодержащих средах вторичного

(стимулированного) СВЧ излучения частотой 1000 МГц, интенсивность которого выступает в качестве диагностического критерия [2, 3].

Методика активной радиометрии состоит в установке приемно-излучающего модуля на область интереса (грудную клетку животного, фиксированного на спине) и последующего измерения интенсивности СВЧ-излучения (волновой активности тканей - ВА) в выбранной точке в течении 10-15 сек, при этом управляющими схемами радиометра производится усреднение принимаемого радиосигнала и передача соответствующей информации для последующей обработки на персональный компьютер. Оценка принимаемого радиосигнала производилась в условных единицах: за 1 условную единицу принимался уровень излучения дистиллята воды при 37 °С, что соответствует принимаемой мощности  $\sim 10^{-14}$  Вт [2, 3].

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в программе Statistica 6,0. В процессе исследования рассчитывалась медиана выборки (Me), а так же 25% и 75% процентиля. Корреляционный анализ проводился путем расчета коэффициента линейной корреляции Пирсона, математическое моделирование зависимости исследуемых показателей осуществлялось с помощью линейного регрессионного анализа. Межгрупповые различия средних значений оценивали с помощью теста Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis test).

### Результаты исследования

Результаты оценки легочного индекса и волновой активности тканей грудной клетки представлены в табл.1.

Таблица 1

Показатели легочного индекса и волновой активности в группах

Группа	ЛИ, ед.			ВА, ед.		
	Me	25%	75%	Me	25%	75%
I	15,3	13,0	18,1	1,29	1,02	1,48
II	8,4	7,2	11,3	0,46	0,34	0,87
Контроль	6,2	5,9	6,3	0,11	0,07	0,16

Результаты межгрупповых сравнений средних значений ЛИ и ВА свидетельствуют о статистически значимом характере различий ЛИ (статистика Kruskal-Wallis  $H=18,3$ ;  $p=0,006$ ) и ВА (статистика Kruskal-Wallis  $H=18,9$ ;  $p=0,0056$ ) у животных с разной степенью отека.

Характер и степень связи волновой активности тканей легкого и легочного индекса оценивались с помощью линейного регрессионного анализа. На рис.1. представлены результаты графического анализа зависимости ВА и ЛИ у экспериментальных животных.

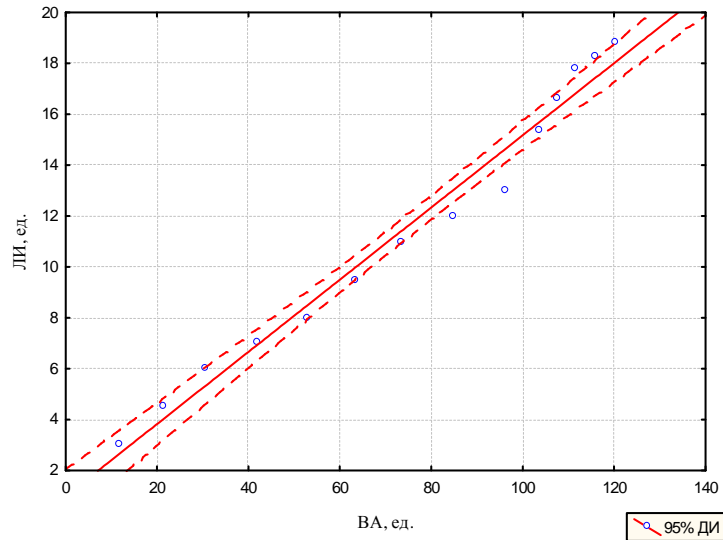


Рис.1. Зависимость волновой активности органов грудной полости и легочного индекса

Графический анализ зависимости ЛИ и ВА указывает на тесный линейный (прямопропорциональный) характер связи исследуемых показателей друг с другом. Проведенный регрессионный анализ показал, что коэффициент линейной корреляции указанных показателей составил 0,989 ( $p=0,017$ ); коэффициент детерминации регрессионного уравнения – 0,979. Таким образом, более 97% всей дисперсии ВА, наблюдаемой у экспериментальных животных, обусловлено изменениями альвеолярно-капиллярной проницаемости. Адекватность модели подтверждается нормальным распределением ее остатков (значение критерия Шапиро-Уилка  $W=0,9$ ;  $p=0,11$ ) и их низкой корреляцией (статистика Дарбина-Уотсона: 1,96; коэффициент корреляции -  $r = 0,016$ ).

Анализ результатов регрессии позволил формализовать имеющую место зависимость и предложить формулу расчета легочного индекса по результатам оценки ВА:  $ЛИ = -0,85 + 12,0 \cdot ВА$ .

Разработка неинвазивного критерия оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости позволит оперативно исследовать влияние различных физико-химических и биологических факторов на этот процесс с помощью активной радиометрии, что не всегда возможно с помощью других методов. Для оценки информативности предлагаемого радиометрического критерия был проведен его характеристический (ROC)

анализ с оценкой операционных характеристик критерия, результаты которого (ROC-кривая) представлены на рис.2.

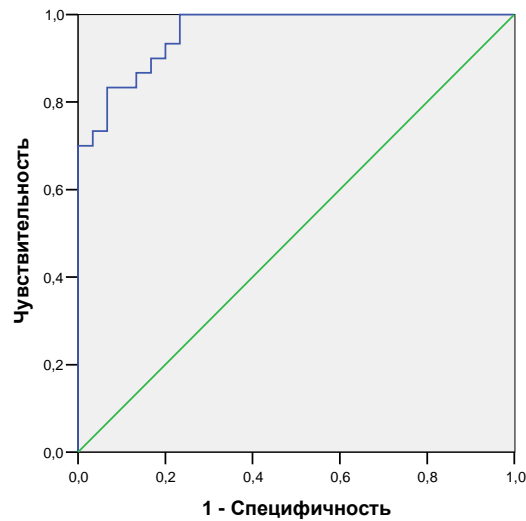


Рис.2. Характеристическая (ROC) кривая радиометрического критерия оценки отека легких

Характеристический анализ показал, что максимальная статистическая мощность радиометрического критерия идентификации ОЛ достигается при значении ВА равном 8,5 ед. При этом информативность ВА в указанной точке разделится составит 93,1% (95% ДИ 91,1-95,3%) при чувствительности указанного критерия 85,3% и специфичности 96,2%. Результаты оценки операционных характеристик разработанного диагностического критерия ОЛ свидетельствуют о достаточно высокой информативности активной радиометрии в оценке сосудистой проницаемости.

Таким образом, результаты проведенного исследования указывают на обусловленность электромагнитных проявлений жизнедеятельности организма, а именно интенсивности стимулированного излучения его водосодержащих сред на частоте 1000 МГц, изменениями функционального состояния. Очевидно, что усиление транскапиллярного обмена воды и белка под влиянием повышенного гидростатического градиента, приводящее к накоплению жидкости в ткани легкого, сопровождается изменением радиофизических свойств биоткани, что и является причиной изменений мощности вторичного СВЧ излучения при КВЧ зондировании [3].

Анализ полученных результатов показывает, что метод активной СВЧ-радиометрии может использоваться для идентификации патологических изменений сопровождающихся перераспределением жидкой части крови между сосудистым руслом и тканью. Результаты проведенного

исследования так же свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований в направлении создания технологии оперативной неинвазивной оценки сосудистой проницаемости для использования ее в клинике.

### **Выводы**

1. Показан линейный характер связи ВА с интенсивностью отека легких и ее сильный характер ( $r=0,98$ ), что обуславливает возможность использования стимулированного СВЧ-излучения органов грудной полости для оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости.
2. Предложена формула оценки легочного индекса по результатам активной радиометрии, которая может использоваться для неинвазивной оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости в ходе экспериментальных исследований.
3. Активная СВЧ радиометрия характеризуется высокой чувствительностью к нарушениям альвеолярно-капиллярной проницаемости и развитию отека легких. Информативность оценки экспериментального отека легких с ее помощью составляет 93,1% (95% ДИ 91,1-95,3%), чувствительность - 85,3%, специфичность - 96,2%.

### **Литература**

1. Петросян, В.И. Резонансное излучение воды в радиодиапазоне /В.И.Петросян //Письма в ЖТФ.- 2005.- Т.31, Вып.23.- С.29-33.
2. Терехов, И.В. Оценка сосудистой проницаемости с помощью активной радиометрии /И.В.Терехов //Аспирантский вестник Поволжья.- 2009.-№7-8.- С.187-190.
3. Транс-резонансная функциональная топография. Биофизическое обоснование /Петросян В.И., Громов М.С., Власкин С.В. и др. //Миллиметровые волны в биологии и медицине.- 2003.- №1 (29). -С.23-26.
4. Pulmonary Edema Induced by Angiotensin II in Rats / K.Shimakura, M.Sanaka, L.Wang, et all // Jpn. J. Pharmacol.-1995.- Vol.67.- P.383-389.

Терехов Игорь Владимирович \_\_\_\_\_

Адрес: Саратов, Ильинская пл., 17.

Солодухин Константин Анатольевич \_\_\_\_\_

Адрес: Саратов, Ильинская пл., 17.

Аржников Владимир Владимирович \_\_\_\_\_

Адрес: Саратов, ул. Большая Казачья, 112.

Лифшиц Владимир Борисович \_\_\_\_\_

Адрес: Саратов, ул. Большая Казачья, 112.

Ицкович Виктория Олеговна \_\_\_\_\_

Адрес: Саратов, ул. Большая Казачья, 112.

Никифоров Виктор Сергеевич \_\_\_\_\_

Адрес: 198013, г. Санкт-Петербург, Загородный пр., 47.

Ответственный автор: Терехов Игорь Владимирович.

410010 г.Саратов, Техническая ул., д.2, к.186. Контактный телефон:  
8 937 2668614. E-mail: [trft@mail.ru](mailto:trft@mail.ru)