

Экспериментальные статьи

ТЕРЕХОВ И. В.¹, СОЛОДУХИН К. А.¹,
АРЖНИКОВ В. В.², ЛИФШИЦ В. Б.²,
ИЦКОВИЧ В. О.², НИКИФОРОВ В. С.³

Возможность использования активной СВЧ-радиометрии для оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости в эксперименте

¹ Саратовский военно-медицинский институт

² Саратовский государственный медицинский университет

³ Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова

e-mail: trft@mail.ru

Реферат

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, характеризуемых 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 также 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.

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

Estimation of alveolar-capillary status with help by active microwave radiometry

¹ Saratov military-medical institute

² Saratov state medical university

³ S. M. Kirov's Military medical academy

e-mail: trft@mail.ru

Abstract

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 adrenalinic 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 perгессионное the 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.

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

Введение

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 мало-мощное радиоизлучение живых объектов, является активная сверхвысокочастотная (СВЧ) радиометрия [2, 3].

Цель исследования

Изучение возможности неинвазивной оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости с помощью активной радиометрии в СВЧ-диапазоне.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал и методы 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 группе для моделирования летального отека использовалась доза адреналина 2,6 мг/кг, при этом гибель указанных животных наблюдалась на 500 ± 30 секунде от момента введения адреналина. Животным II 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 (регистрационное удостоверение № 07292).

Комплекс состоит из сверхвысокочастотного модуляционного радиометра прямого усиления, настроенного на прием радиоволн в полосе частот 1000 ± 25 МГц чувствительностью ~ 10 –16 Вт и приемно-излучающего модуля, включающего источник зондирующего крайневыхсокочастотного (КВЧ) излучения частотой 65 ГГц (плотность потока мощности — менее 1 мВт/см^2) 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 ин-

тереса (грудную клетку животного, фиксированного на спине) и последующего измерения интенсивности СВЧ-излучения (волновой активности тканей — ВА) в выбранной точке в течении 10–15 с, 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°C , что соответствует принимаемой мощности ~ 10 –14 Вт [2, 3].

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в программе Statistica 6,0. В процессе исследования рассчитывалась медиана выборки (Me), а также 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 и их обсуждение

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

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 показаны результаты графического анализа зависимости ВА и ЛИ у экспериментальных животных.

Графический анализ зависимости ЛИ и ВА указывает на тесный линейный (прямо пропорциональный) 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: $\text{ЛИ} = -0,85 + 12,0\text{ВА}$.

Разработка неинвазивного критерия оценки состояния альвеолярно-капиллярной проницаемости

Показатели легочного индекса и волновой активности в группах

Таблица 1

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

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.

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 разделения составит 93,1 % (95 % ДИ 91,1–95,3 %) при чувствительности 85,3% и специфичности 96,2 %.

Анализ операционных характеристик разработанного критерия развития ОЛ указывает на высокую информативность активной радиометрии в оценке нарушений перфузии легких.

Таким образом, результаты проведенного исследования указывают на обусловленность изменений интенсивности стимулированного СВЧ-излучения его водосодержащих сред на частоте 1000 МГц, морфофункциональными изменениями зондируемой биоткани. Очевидно, что усиление транскапиллярного обмена воды и белка под влиянием повышенного гидростатического градиента, приводящее к накоплению жидкости в тканях легкого, сопровождается изменением их радиофизических свойств, что 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 также свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований в направлении создания технологии оперативной неинвазивной оценки сосудистой проницаемости для использования ее в клинике.

Выводы

1. На основании проведенных исследований показана линейная связь ВА и ОЛ и ее сильный характер ($r=0,98$), что обуславливает возможность использования стимулированного СВЧ-излучения органов грудной полости для оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости.

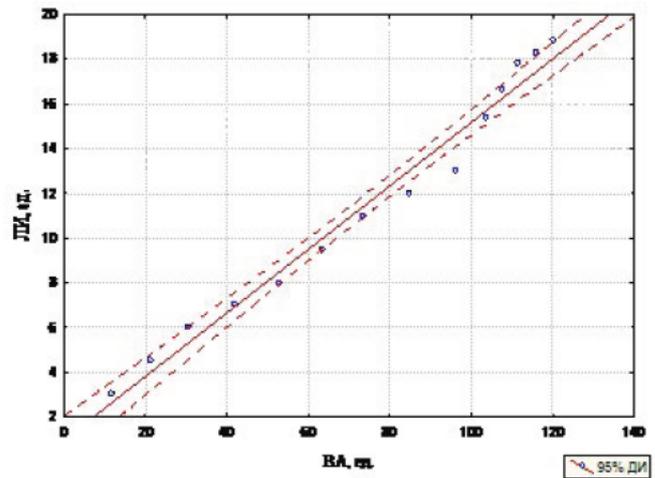


Рис. 1. Зависимость волновой активности органов грудной полости и легочного индекса

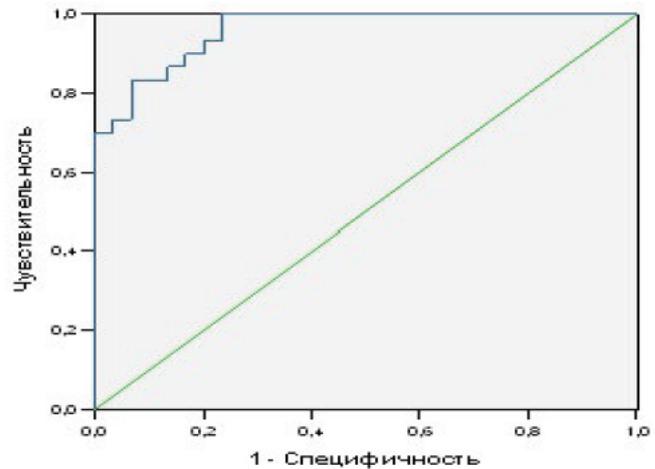


Рис. 2. Характеристическая (ROC) кривая радиометрического критерия оценки отека легких

2. Предложена формула оценки ЛИ по результатам активной СВЧ-радиометрии, которая может использоваться для неинвазивной оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости в ходе экспериментальных исследований.

3. В исследовании установлено, что активная СВЧ-радиометрия характеризуется высокой чувствительностью к нарушениям альвеолярно-капиллярной проницаемости и развитию отека легких. Информативность диагностики 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. Трансрезонансная функциональная топография: биофизическое обоснование / В. И. Петросян [и др.] // Миллиметровые волны в биол. и мед. — 2003. — № 1 (29). — С. 23–26.
4. Pulmonary edema induced by angiotensin II in rats / K. Shimakura [et al] // Jpn. J. Pharmacol. — 1995. — Vol. 67. — P. 383–389.