

Оценка транскапиллярного обмена воды в легких методом активной радиометрии

Аннотация

В исследовании обсуждаются возможности использования стимулированного сверхвысокочастотного излучения органов грудной полости для неинвазивной оценки состояния транскапиллярного обмена воды в легких. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что распределение СВЧ-излучения тканей частотой 1 ГГц при их зондировании низкоинтенсивными электромагнитными волнами частотой 65 ГГц соответствует распределению легочного кровотока. Представленные расчеты указывают на экспоненциальный характер распределения интенсивности транскапиллярного обмена воды в легких от верхушек к базальным отделам легких, что соответствует градиенту перфузии. Данное обстоятельство указывает на соответствие показателей перфузии легких и интенсивности стимулированного радиоизлучения тканей на частоте 1 ГГц, определяя возможность проведения неинвазивной оценки состояния легочной перфузии методом активной радиометрии.

В статье обоснована необходимость исследования проницаемости микроциркуляторного русла органов и тканей для воды и белка как важного звена обеспечения метаболических потребностей организма. Важно исследование состояния транскапиллярного обмена воды в легких.

Неинвазивная и информативная оценка состояния транскапиллярного обмена в тканях, его оперативная оценка и мониторинг затруднены из-за недоступности соответствующих медицинских технологий [1]. Поэтому разработка неинвазивных, безопасных и доступных способов оценки и мониторинга состояния обмена воды в легких является актуальной задачей [2].

Методом инструментальной диагностики, основанном на оценке радиофизического состояния водосодержащих сред и их реакции на слабое электромагнитное излучение резонансной частоты 65 ГГц, является *активная радиометрия* (АР) в СВЧ-диапазоне. АР используется в мониторинге патологических изменений внутренних органов, в частности у больных с пневмонией, ишемической болезнью сердца, а также в хирургической практике.

Целью рассматриваемого исследования являлось изучение возможности оценки транскапиллярного обмена воды в легких методом активной радиометрии водосодержащих сред.

Материалы и методы

Методом АР было обследовано 50 здоровых мужчин в возрасте 20...28 лет. Осуществлялось зондирование исследуемой области организма внешним низкоинтенсивным *крайневысокочастотным* (КВЧ) излучением на частоте радиопрозрачности водосодержащих сред (65 ГГц), что сопровождается возникновением в водной среде стимулированного излучения в *сверхвысокочастотном* (СВЧ) диапазоне на частоте 1 ГГц, являющегося диагностическим параметром. Оценка транскапиллярного обмена воды проводилась радиоэлектронным диагностическим комплексом «Аквафон» (ООО «Телемак», г. Саратов) [3]. Диагностический комплекс включает в себя модуляционный радиометр прямого усиления, настроенный на прием радиоволн в полосе частот $(1 \pm 0,03)$ ГГц, чувствительностью $\sim 10^{-17}$ Вт и *приемно-излучающий модуль* (ПИМ) в составе источника зондирующего излучения (плотностью потока мощности менее 10 мкВт/см²) частотой 65 ГГц и приемной аппликатурной СВЧ-антенны [4].

Оценка стимулированного излучения тканей, или *волновой активности среды* (ВА), производилась в условных единицах: за 100 условных единиц принимался уровень стимулированного излучения дистиллята воды при 37 °С, что соответствовало уровню излучаемой мощности $\sim 10^{-14}$ Вт. Использовалась методика топографического картирования интенсивности стимулированного излучения водосодержащих сред организма, заключающаяся в последовательном зондировании в дискретных точках на поверхности грудной клетки с последующей интерполяцией амплитуды радиосигнала ВА на всю поверх-

ность грудной клетки [5]. Места установки ПИМ (точки регистрации ВА) в процессе АР показаны на *рис. 1*.

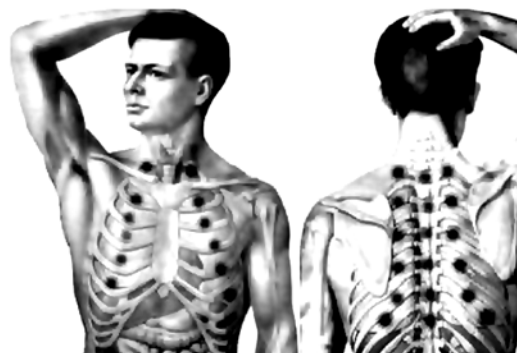


Рис. 1. Точки регистрации ВА

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в программе Statistica 7.0. В ходе исследования рассчитывали выборочное среднее, медиану (*Me*), 25 и 75 % процентиля (*q25*; *q75*). Межгрупповые различия оценивали с помощью теста Kruskal-Wallis [6].

Результаты исследования

После измерения ВА программное обеспечение диагностического комплекса разбивает топокарту распределения ВА на 6 равномерных по ширине уровней, расположенных в горизонтальной плоскости (уровни регистрации ВА), в пределах которых рассчитываются соответствующие параметры радиосигнала (*табл. 1*).

Таблица 1

Результаты оценки ВА

Уровень регистрации ВА	ВА, ед.				z, ед.
	x	q25	Me	q75	
1	95,3	85,0	92,3	103,0	0
2	108,8	98,1	109,1	117,9	-13,5
3	119,9	107,7	119,7	130,4	-24,6
4	127,2	114,7	127,5	138,9	-31,9
5	128,4	117,2	129,5	141,4	-33,1
6	126,3	112,0	125,1	136,3	-31,0

Примечание – z – абсолютная разница значений ВА между 1-м уровнем регистрации ВА и последующим.

Анализ полученных результатов свидетельствует об увеличении интенсивности стимулированного СВЧ-излучения по мере приближения к основанию легких. При этом интенсивность стимулированного излучения достигает максимальных

значений на 5-м уровне регистрации (на уровне базальных отделов), увеличиваясь по сравнению с верхушками на 28,7 %, а затем уменьшаясь на 2,1 %.

С целью уточнения направления *транскапиллярного обмена воды* (ТКО_в) в сосудах легких был изучен градиент изменений ВА по уровням регистрации. Используя разработанную формулу оценки сосудистой проницаемости по результатам АР, мы рассчитали значения ТКО_в, соответствующие изменениям ВА в направлении от верхушки легких к базальным отделам. Результаты расчета ТКО_в представлены на *рис. 2*.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в области верхушек легких имеют место положительные значения проницаемости, что свидетельствует о перемещении жидкости в направлении ткань → сосудистое русло и находится в согласии с результатами вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии.

По мере приближения к базальным отделам легких сосудистая проницаемость увеличивается, о чем свидетельствуют изменение знака проницаемости и увеличение ее значений. При этом вектор перемещения жидкости направлен из сосудистого пространства в ткань. Для определения математического вида зависимости сосудистой проницаемости и уровня регистрации радиосигнала был проведен экспоненциальный регрессионный анализ. Проведенный анализ показал, что изменение сосудистой проницаемости легких может быть описано следующей формулой: $ТКО_{в} = -2,1 + \exp(2,3 - 1,1 \times n)$, где ТКО_в – транскапиллярный обмен воды; *n* – уровень регистрации радиосигнала. Коэффициент корреляции регрессионной модели составил 0,995, при этом полученная математическая модель распределения радиосигнала по поверхности органов грудной полости объясняет 99,4 % варибельности экспериментальных данных. Полученные результаты свидетельствуют, что экспоненциальная модель хорошо описывает имеющую место закономерность распределения стимулированного СВЧ-радиоизлучения по поверхности грудной клетки, что может служить подтверждением ее адекватности экспериментальным данным. Об адекватности модели экспериментальным данным свидетельствуют и малые значения функции потерь – 0,09.

Обсуждение результатов исследования

Особенности распределения кровотока в легких изучены достаточно подробно. Известно, что вентиляция альвеол определяет кровообращение в них, а распределение кровотока в легких частично определяется гравитационным фактором. В покое, при нахождении человека в вертикальном положении, в легких формируется неравномерное кровообращение, при котором базальные отделы перфузируются больше в сравнении с апикальными. Результаты вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии свидетельствуют о неравномерной проницаемости сосудов легких и формировании апикально-базального градиента сосудистой проницаемости, что указывает на повышение транскапиллярного обмена в базальных отделах. При

этом градиент трансэндотелиального перехода воды в верхушках легких направлен в сторону сосудистого пространства, а в базальных отделах – в сторону межклеточного.

Таким образом, в физиологических условиях в легких имеется существенный градиент перфузии и транскапиллярного обмена. Особенности перфузии и вентиляции легких приводят к формированию в легких нескольких зон с различным соотношением перфузии и вентиляции, с установлением динамического равновесия между их показателями.

Результаты исследования свидетельствуют о градиентном характере распределения стимулированного СВЧ-излучения в направлении верхушка-основание легких. При этом увеличение интенсивности принимаемого излучения по направлению к базальным отделам легких указывает на повышение интенсивности ТКО и усиление градиента трансэндотелиальной фильтрации воды в ткани. Таким образом, использование высокочувствительного радиоэлектронного комплекса и метода АР позволяет зафиксировать изменение перфузии легких в условиях их физиологического функционирования и при развитии воспалительной патологии [7], [8]. Учитывая универсальный характер биофизических механизмов формирования стимулированного излучения тканей в ответ на изменение ТКО, АР может быть использована для оценки состояния внутренних органов, в том числе миокарда [9], дифференциальной диагностики онкологических и воспалительных процессов, а также органов брюшной полости [10]-[12].

Методология системного анализа применительно к оценке результатов проведенного исследования создает возможность формирования новой медицинской диагностической технологии неинвазивной оперативной оценки состояния внутренних органов на базе радиофизического явления, лежащего в основе АР. Трансляция результатов исследований взаимосвязи морфологических и радиофизических проявлений функциональной активности тканей и органов в клиническую практику позволит повысить точность диагностики патологических изменений внутренних органов, улучшить выявляемость субклинически протекающих заболеваний.

Выводы

1. Результаты исследования свидетельствуют о градиентном распределении стимулированного СВЧ-излучения водосодержащих сред по грудной клетке. При этом интенсивность излучения возрастает на 28,7 % в направлении верхушки → базальные отделы легких.

2. Проведенная непрямая оценка интенсивности транскапиллярного обмена воды показала, что его интенсивность возрастает от апикальных отделов к основанию легких. При этом транскапиллярный обмен в области верхушек характеризуется положительной величиной и меняет свой знак по направлению к базальным отделам, что указывает на увеличение сосудистой проницаемости.

3. Показано, что изменение транскапиллярного обмена



Рис. 2. Радиометрическая оценка сосудистой проницаемости ткани легких

воды в легких в направлении верхушки → базальные отделы может быть описано экспоненциальным уравнением с высокой информативностью (коэффициент детерминации – 99 %).

Список литературы:

1. *Еськов В.М., Зилов В.Г., Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Веневцева Ю.Л., Громов М.С. и др.* Избранные технологии диагностики. Монография / Под ред. А.А. Хадарцева, В.Г. Зилова, Н.А. Фудина. – Тула: ООО РИФ «ИНФРА», 2008. 296 с.
2. *Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С., Мишустина Е.Л.* Интегральные и регионарные показатели вентиляционно-перфузионной пульмоноскintiграфии у здоровых лиц // *Современные наукоемкие технологии.* 2008. № 3. С. 15.
3. *Терехов И.В., Петросян В.И., Громов М.С.* Технология динамической оценки воспалительного процесса с помощью активной резонансной радиометрии // *Вестник новых медицинских технологий.* 2010. Т. 17. № 1. С. 135-137.
4. *Терехов И.В.* Оценка сосудистой проницаемости с помощью активной радиометрии // *Аспирантский вестник Поволжья.* 2009. № 7-8. С. 187-190.
5. *Терехов И.В., Солодухин К.А., Аржников В.В.* Возможность использования активной СВЧ-радиометрии для оценки альвеолярно-капиллярной проницаемости в эксперименте // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* 2011. № 4. С. 83-86.
6. *Хромушин В.А., Хадарцев А.А., Бучель В.Ф., Хромушин О.В.* Алгоритмы и анализ медицинских данных. Учебное пособие. – Тула: Тульский полиграфист, 2010. 123 с.
7. *Громов М.С., Терехов И.В., Бондарь С.С.* Исследование состояния трансапикалярного обмена и его коррекция с помощью радиоэлектронного лечебно-диагностического комплекса // *Биомедицинская радиоэлектроника.* 2010. № 3. С. 43-48.
8. *Громов М.С., Терехов И.В., Бондарь С.С.* Технология оценки проницаемости капилляров с помощью активной радиометрии // *Вестник новых медицинских технологий.* 2010. Т. 17. № 1. С. 135-137.
9. *Терехов И.В., Солодухин К.А., Никифоров В.С.* Использование радиоволнового зондирования водосодержащих сред для оценки функционального состояния миокарда у больных с артериальной гипертензией // *Российский кардиологический журнал.* 2013. Т. 5. № 103. С. 40-43.
10. *Громов М.С., Терехов И.В., Бондарь С.С.* Дифференциация инфильтративных изменений в легких с помощью топографического картирования СВЧ-излучения органов грудной полости // *Вестник новых медицинских технологий.* 2010. Т. 17. № 3. С. 208-211.
11. *Терехов И.В., Петросян В.И., Громов М.С.* Дифференциальная диагностика заболеваний грудной клетки с помощью трансрезонансной функциональной топографии // *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье.* 2013. Т. 3. № 11. С. 18-26.
12. *Терехов И.В., Петросян В.И., Никитина Е.Б.* Компьютерный анализ в ТРФ топографии для дифференциации и локализации очагов патологии в маммологии и пульмонологии // *Миллиметровые волны в биологии и медицине.* 2005. Т. 1. № 37. С. 56-66.

*Станислав Станиславович Бондарь,
аспирант,
кафедра внутренних болезней,
Игорь Владимирович Терехов,
доцент,*

*кафедра общей патологии,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
г. Тула,*

*Андрей Александрович Воеводин,
ординатор,*

*кафедра терапии,
ФГОУ ВО «Военно-медицинская академия
им. С.М. Кирова» МО РФ,
г. С.-Петербург,*

*Борис Иванович Леонов,
д-р техн. наук, профессор,
президент Академии медико-технических наук РФ,
г. Москва,*

*Александр Агубечирович Хадарцев,
д-р мед. наук, профессор, директор,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
г. Тула,
e-mail: bondar85@mail.ru*

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ,
РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!**

**ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ
«МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА»**

НА 2017 ГОД.

Индекс по каталогу «Роспечать» – 72940.

В редакции можно оформить и оплатить льготную подписку с любого месяца.

**Стоимость подписки : 1200 руб. – за один номер,
3600 руб. – на первое полугодие 2017 года (3 номера), 7200 руб. – на 2017 год (6 номеров).**

Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.