

ORIGINAL ARTICLE



## Estimation of Functional State of Skin and Subskin Structures in Animals and Human with Near-Field Resonance Microwave Sensing

A.K. Martusevich <sup>1</sup>, S.Yu. Krasnova <sup>1</sup>, A.G. Galka <sup>1,2</sup>, A.A. Epishkina <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of medical biophysics, Privolzhsky Research Medical University; 603155, Russia, Nizhny Novgorod, Minin sq., 10/1

<sup>2</sup> Laboratory of space plasma modeling, Institute of Applied Physics; 610027, Russia, 603950, Nizhny Novgorod, Ulyanov st., 46

<sup>3</sup> Department of pathological anatomy, Privolzhsky Research Medical University; 603155, Russia, Nizhny Novgorod, Minin sq., 10/1

\*E-Mail: [cryst-mart@yandex.ru](mailto:cryst-mart@yandex.ru)

Received November 26, 2018

**The aim** of this paper is to study of possibilities of near-field microwave probing in the estimation of skin structure in man and rats.

**Results:** We studied real part of dielectric permittivity of the skin and subcutaneous elements of healthy people and Wistar rats at depths of 2 to 5 mm with resonance near-field microwave tomography. The equation of the linear regression describing the correlation between probing depth and value of the dielectric permittivity were constructed.

**Conclusion:** Our researches have allowed to establish a pattern of depth distribution of the dielectric properties of the skin of healthy people and Wistar rats, which can serve as the physiological microwave pattern for the study of subsurface tissues, including the various layers of the skin and the surrounding subcutaneous structures. It allows to consider this technology as a method of monitoring of organism state in different stress conditions.

*Key words:* skin, deep structures, near-field resonance microwave sensing, dielectric permittivity, stress conditions, monitoring

Работы по изучению электропроводимости тканей, в том числе кожи, впервые появились около 40 лет назад (Tamura *et al.*, 1994). С этого времени количество публикаций, несмотря на содержащиеся в них интересные результаты, сравнительно мало (Raicu *et al.*, 2002; Hayashi *et al.*, 2005; Semenov, 2009).

Кожа, несмотря на поверхностную локализацию, являясь затруднительным объектом для визуализации, длительное время оставалась лишь предметом гистологического исследования (Гладкова *с соавт.*, 2016; Sunaga *et al.*, 2002; Hayashi *et al.*, 2005; Semenov, 2009). Существующие методы (например, оптическая когерентная томография, ИК-термография и др.) позволяют изучить лишь поверхность и ближайшие поверхностные структуры кожи (Гладкова, Сергеев, 2007; Турчин, 2016; Gaikovich, 2007; Semenov, 2009). Более обширный методический аппарат имеется для мониторинга сосудов кожи (Турчин, 2016), тогда как глубинная структура последней затруднительна для неинвазивного изучения (Гладкова, Сергеев, 2007; Арсеньев *с соавт.*, 2011). В этом плане привлекают внимание работы по профилированию кожи по ее диэлектрическим свойствам (Резник, Юрасова, 2004; Костров *с соавт.*, 2005; Raicu *et al.*, 2000; Gaikovich, 2007), однако эти сведения единичны и отрывочны. Это, в частности, обусловлено отсутствием доступных диагностических инструментов для оценки диэлектрических характеристик кожи и других тканей (Резник, Юрасова, 2004; Костров *с соавт.*, 2005).

В связи с этим, целью исследования явилось изучение возможностей ближнеполюсного СВЧ-зондирования в оценке структуры кожи человека и крыс.

## MATERIALS AND METHODS

Исследование, включавшее однократное СВЧ-зондирования, выполнено у 20 практически здоровых людей и 20 здоровых половозрелых крыс-самцов линии Вистар. Ближнеполюсное СВЧ-зондирование тканей производили с использованием специальной установки, созданной в Институте

прикладной физики РАН (Нижний Новгород), а также специализированного программного обеспечения, сопрягающего установку с ПК и позволяющего производить расчет действительной части диэлектрической проницаемости (Костров *с соавт.*, 2005; Богомолова *с соавт.*, 2017; Мартусевич *с соавт.*, 2017). Диэлектрические характеристики кожи оценивали на глубинах от 2 до 5 мм с помощью серии зондов. Измерение у всех обследуемых людей проводили на предплечье в единой точке, а у животных – в одной точке, локализованной в средней части спины, на предварительно эпилированной поверхности.

Полученные данные были обработаны в программном пакете Statistica 6.1.

## RESULTS AND DISCUSSION

Установлено, что действительная часть диэлектрической проницаемости кожи людей монотонно нарастает с увеличением глубины зондирования (рис. 1), демонстрируя тенденцию к нарастанию в 1,74 раза при сопоставлении значений параметра, полученных на глубинах 2 и 5 мм ( $p < 0,05$ ).

Это обусловлено тем обстоятельством, что рассматриваемая величина кумулятивна, и каждое последующее значение включает предыдущее, а также вклад, вносимый тканями, находящимися от предшествующего до текущего уровня зондирования. На основании полученных данных построена линейная математическая модель изменения диэлектрической проницаемости кожи, достаточно полно описывающая ее подповерхностный профиль (коэффициент детерминации – 0,94). Уравнение линейной регрессии, позволяющее прогнозировать значение диэлектрической проницаемости на иных глубинах зондирования, представлено в следующем виде:

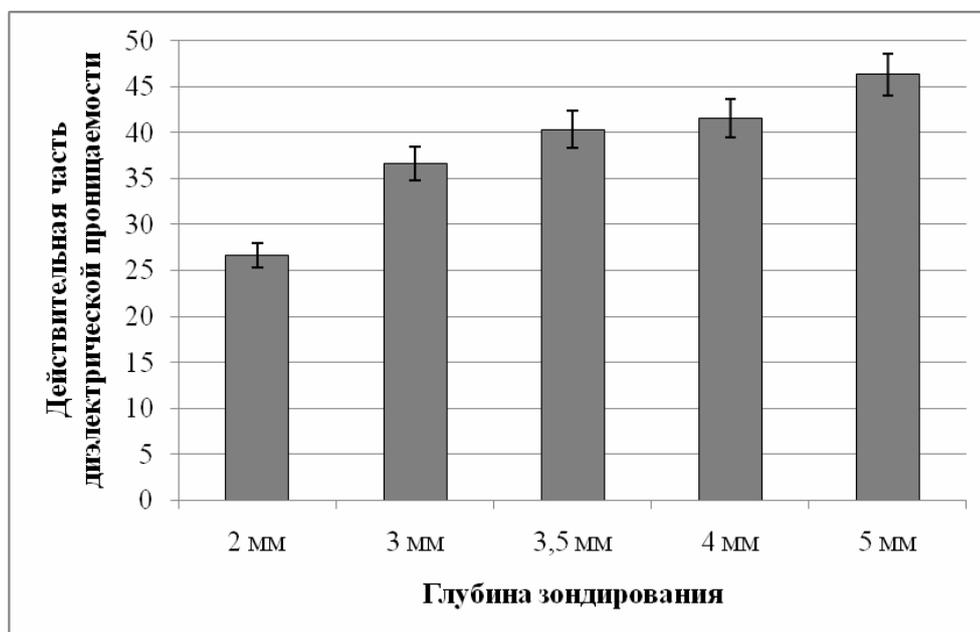
$$y = 6,4125 \cdot x + 15,844 \quad (1)$$

Анализ диэлектрических свойств кожи крыс позволил установить, проводимость последней значительно, практически на порядок ниже, чем у людей, однако характер зависимости рассмотренного параметра сохраняется,

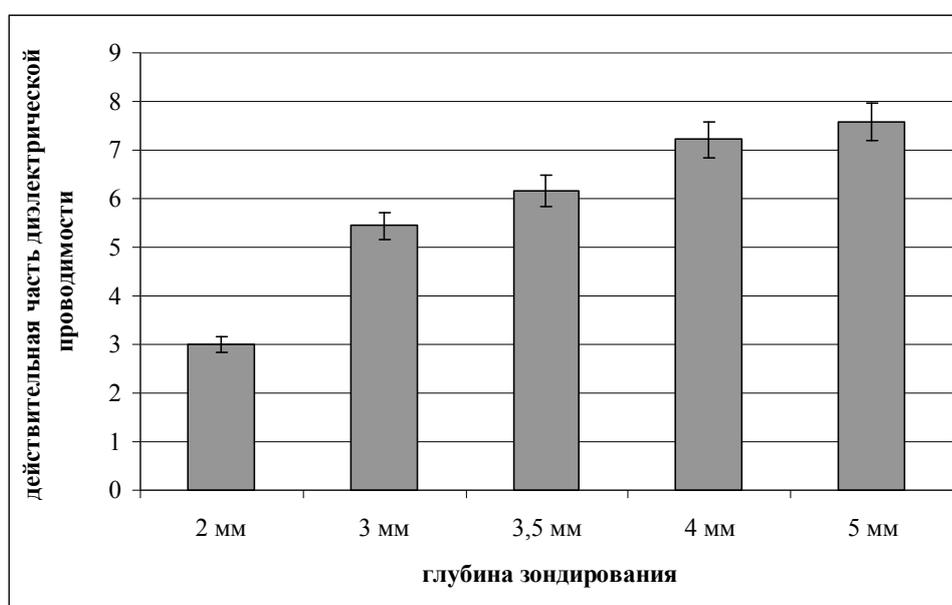
демонстрируя монотонное повышение значения с максимумом на глубине 5 мм (рис. 2). При этом уровень изучаемого параметра на минимальной и максимальной глубинах различается в 2,55 раза ( $p < 0,01$ ), что связано с оценкой более глубоких структур у крыс при проведении СВЧ-профилирования одним датчиком, осуществляющим зондирование глубине 5 мм.

Для СВЧ-профиля кожи крыс нами также было сформировано уравнение линейной регрессии, как и людей достаточно полноценно отображающее экспериментально полученные значения диэлектрической проницаемости (коэффициент детерминации – 0,91). Данное уравнение имеет следующий вид:

$$y = 1,55 \cdot x + 0,455 \quad (2)$$



**Figure 1.** Профиль диэлектрической проницаемости кожи и подкожных структур практически здоровых людей (в усл. ед.)



**Figure 2.** Профиль диэлектрической проницаемости кожи и подкожных структур здоровых крыс (в усл. ед.)

## CONCLUSION

Проведенные исследования позволили установить картину глубинного распределения диэлектрической проницаемости кожи здоровых людей и животных (крыс линии Вистар), которая может служить физиологическим СВЧ-паттерном для исследования подповерхностных тканей, в том числе различных слоев кожи и ближайших подкожных структур. Показано, что действительная часть диэлектрической проницаемости на всех исследованных глубинах у человека на порядок выше, чем у крыс, и монотонно возрастает при увеличении глубины зондирования в диапазоне от 2 до 5 мм с шагом от 0,5 до 1 мм.

Стабильность данного паттерна предопределяет возможность применения метода СВЧ-профилирования кожи в оценке ее структуры в норме и при локальных изменениях (доброкачественные и злокачественные новообразования, ожоги и др.), а полученные уравнения могут служить ориентиром для последующего изучения диэлектрических характеристик покровных тканей человека и половозрелых крыс линии Вистар в разноплановых экспериментах. Это позволяет рассматривать данную диагностическую технологию как способ мониторинга состояния организма в условиях стрессирующих воздействий различного генеза.

## ACKNOWLEDGMENT

Исследование частично поддержано грантом РФФИ №18-42-5200053 p\_a

## REFERENCES

- Арсеньев А.В., Волченко А.Н., Лихачёва Л.В., Печерский В.И. (2011) Применение метода ВЧ-ближнепольного зондирования в диагностике биообъектов. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. **2**. 154-157.
- Богомолова Е.Б., Мартусевич А.К., Клеменова И.А., Янин Д.В., Галка А.Г. (2017) Применение современных методов визуализации в оценке состояния и прогнозировании развития патологических рубцов. *Медицина*. **3**. 58-75.
- Гладкова Н.Д., Сергеев А.М. (2007) Руководство по оптической когерентной томографии. М.: Физматлит. 295 с.
- Костров А.В., Смирнов А.И., Янин Д.В. с соавт. (2005) Резонансная ближнепольная СВЧ диагностика неоднородных сред. *Известия РАН. Серия физическая*. **69(12)**. 1716-1720.
- Мартусевич А.К., Янин Д.В., Богомолова Е.Б., Галка А.Г., Клеменова И.А., Костров А.В. (2017) Возможности и перспективы применения СВЧ-томографии в оценке состояния кожи. *Биомедицинская радиоэлектроника*. **12**. 3-12.
- Резник А.Н., Юрасова Н.В. (2004) Ближнепольная СВЧ томография биологических сред. *Журнал технической физики*. **74(4)**. 108-116.
- Турчин И.В. (2016) Методы оптической биомедицинской визуализации: от субклеточных структур до тканей и органов. *Успехи физических наук*. **186(5)**. 550-567.
- Gaikovich K.P. (2007) Subsurface near-field scanning tomography. *Physical Review Letters*. **98(18)**. 183902.
- Hayashi Y., Miura N., Shinyashiki N., Yagihara S. (2005) Free water content and monitoring of healing processes of skin burns studied by microwave dielectric spectroscopy *in vivo*. *Phys. Med. Biol.* **50(4)**. N8-N14.
- Raicu V., Kitagawa N., Irimajiri A. (2000) A quantitative approach to the dielectric properties of the skin. *Physics in Medicine and Biology*. **45(2)**. L1-L4.
- Schertlen R., Pivit F., Wiesbeck W. (2002) Wound diagnostics with microwaves // *Biomed. Tech. (Berlin)*. **47(suppl. 1, Pt. 2)**. 672-673.
- Semenov S. (2009) Microwave tomography: Review of the progress towards clinical applications. *Philos. Trans A Math Phys. Eng. Sci.* **367(1900)**. 3021-3042.
- Sunaga T., Ikehira H., Furukawa S. et al. (2002)

Measurement of the electrical properties of human skin and the variation among subjects with certain skin conditions. *Phys. Med. Biol.* **47(1)**. N11-N15.

Tamura T., Tenhunen M., Lahtinen T. et al. (1994) Modelling of the dielectric properties of normal and irradiated skin. *Phys. Med. Biol.* **39(6)**. 927–936.