

ORIGINAL ARTICLE



The Study of Dielectric Properties of Biological Tissue under Thermal Modification *in vitro*

Andrew K. Martusevich ¹, Sergey V. Petrov ², Alexander G. Galka ^{1,3},
Elena S. Golygina ¹

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

² Department of hand microsurgery, Privolzhsky Research Medical University; 603155, Russia, Nizhny Novgorod, Minin sq., 10/1

³ Laboratory of space plasma modeling, Institute of Applied Physics; 610027, Russia, 603950, Nizhny Novgorod, Ulyanov st., 46

*E-Mail: cryst-mart@yandex.ru

Received February 27, 2019

The aim of this paper is to study the dynamics of the dielectric properties of the tissue in the experimental controlled thermal modification.

Material and methods: the experiment was performed on equal in volume and mass samples of intraoperatively removed tissue of Palmar aponeurosis (n=8). The thermal effect was simulated by placing tissue fragments in a thermostat (processing time – 5 min., temperature – 60 C). Duration of exposure after thermal modification was 5 min. Dielectric properties of tissues was determined using an original hardware-software complex for near-field resonant microwave sensing.

Results: the study made it possible to verify the shifts in dielectric properties of the tissue that occur under short-term exposure to high temperature *in vitro*. It is shown that the dielectric permeability and conductivity of the biological object are significantly reduced under the influence of this factor, which is primarily due to a decrease of its hydration degree.

Key words: Palmar aponeurosis, thermal modification, near-field resonance microwave sensing/ dielectric permittivity, thermal stress

В настоящее время существует широкий ассортимент технологий медицинской визуализации, к числу наиболее современных среди которых следует отнести ультразвуковое исследование, компьютерную и магнитно-резонансную томографию (Гладкова, Сергеев, 2007). С другой стороны, не все типы тканей могут быть эффективно и с достаточно высоким разрешением визуализированы (Турчин, 2016; Gaikovich, 2007). В полной мере это относится и к покровным тканям, в том числе – к коже и ближайшим подкожным слоям. Данный факт обуславливает необходимость дальнейшего поиска новых методов медицинской визуализации, основанных на других физических принципах, и их экспериментально-клинической апробации (Гладкова, Сергеев, 2007; Турчин, 2016; Мартусевич с соавт., 2017).

В этом плане привлекают внимание возможности ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования, позволяющего интегрально оценивать диэлектрические свойства биологических объектов (Резник, Юрасова, 2004; Костров с соавт., 2005; Gaikovich, 2007). Эта технология, характеризующая как обобщенные параметры биологического образца, так и его глубинную структуру (Мартусевич с соавт., 2017, 2018), не имеет ограничений по морфологии анализируемых тканей (Костров с соавт., 2005; Tamura *et al.*, 1994). Указанное обстоятельство позволяет изучать с его помощью любые живые ткани, осуществляя неинвазивную, неразрушающую диагностику их состояния (Semenov, 2009) и потенциально обладая способностью к проведению бесконтактного исследования (в том числе через физические преграды – например, повязки или раневые покрытия [Мартусевич с соавт., 2017; Sunaga *et al.*, 2002]). В то же время возможности и диагностические перспективы ближнепольного СВЧ-зондирования в экспериментальной и клинической медицине изучены недостаточно полно (Мартусевич с соавт., 2017; Raicu *et al.*, 2000), что обуславливает целесообразность проведения исследований в данном направлении.

Одной из потенциальных областей применения рассматриваемой диагностической технологии

может стать комбустиология, однако сейчас имеются лишь единичные подтверждения информативности метода в оценке состояния тканей в процессе воздействия высоких температур (Мартусевич с соавт., 2018; Schertlen *et al.*, 2002). Следовательно, необходим углубленный анализ данного аспекта проблемы, в связи с чем **целью исследования** явилось изучение динамики диэлектрических свойств ткани при экспериментальной контролируемой термомодификации.

MATERIALS AND METHODS

Эксперимент выполнен на равных по объему и массе образцах интраоперационно удаленной ткани ладонного апоневроза (n=8). Термическое воздействие моделировали путем помещения фрагментов ткани в термостат (время обработки – 5 мин., температура – 60°C). Продолжительность экспозиции после термомодификации составляла 5 мин.

Диэлектрические свойства тканей (диэлектрическую проницаемость ϵ и проводимость σ) определяли с использованием оригинального программно-аппаратного комплекса для ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования, разработанного в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород) [Костров с соавт., 2005]. Изучение указанных параметров проводили при глубине зондирования 5 мм., примерно сопоставимой с толщиной анализируемых образцов ткани. Исследование каждого фрагмента ткани осуществляли двукратно – до и после термомодификации (по завершении периода экспозиции).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Statistica 6.1 for Windows. Нормальность распределения значений параметров оценивали с использованием критерия Шапиро-Уилка. С учетом характера распределения признака для оценки статистической значимости различий применяли Н-критерий Краскала-Уоллеса. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

RESULTS AND DISCUSSION

Установлено, что в результате термомодификации диэлектрические характеристики биоткани существенно трансформируются (рис. 1-2). Это обусловлено тем обстоятельством, что они в существенной степени зависят от содержания в изучаемом объекте воды (Naito S., Hoshi M., Mashimo S., 1997; Hayashi Y., Miura N., Shinyashiki N., Yagihara S., 2005), а при нагревании происходит существенное уменьшение гидратации тканей. Так, после дозированного высушивания наблюдали снижение диэлектрической проницаемости образцов в 2,48 раза (рис. 1; $p < 0,05$ по сравнению с исходным уровнем показателя). Подобную динамику параметра регистрировали и в наших предшествующих исследованиях, включавших сравнительную оценку диэлектрических свойств кожи и подкожных структур у здоровых и имеющих

модельную термическую травмы крыс линии Вистар (Мартусевич А.К. с соавт., 2018). Это подтверждает диагностическую информативность анализа диэлектрической проницаемости тканей при воздействии высоких температур, в том числе – при термических ожогах.

Аналогичная, но менее выраженная тенденция была выявлена для проводимости образца ткани (рис. 2). Обнаружено, что после термомодификации имеет место уменьшение значения данного показателя на 25,3% относительно интактного состояния ($p < 0,05$). Это свидетельствует о нарушении физиологической структуры ткани и косвенно указывает на метаболические сдвиги в ней, обуславливающие изменение ионного состава межклеточного вещества, его осмолярности и других физико-химических характеристик (Резник, Юрасова, 2004; Костров с соавт., 2005; Naito et al., 1997; Hayashi et al., 2005).

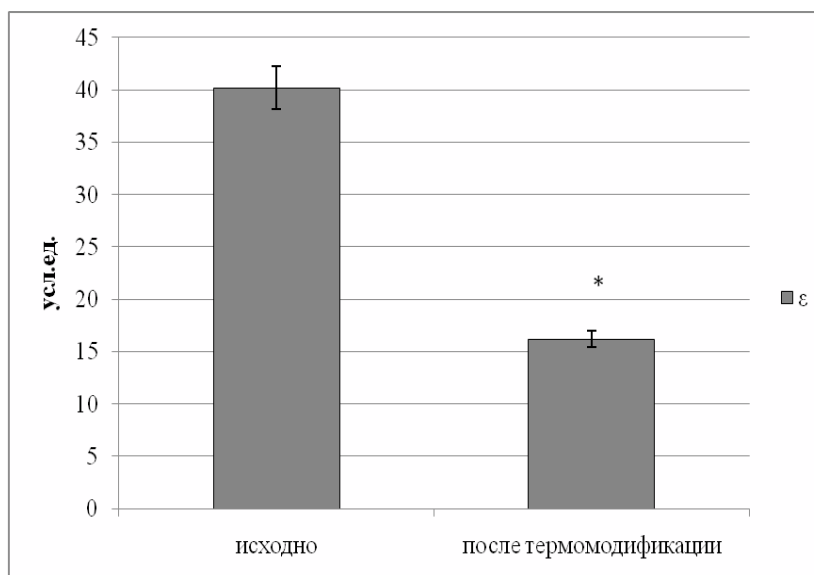


Figure 1. Изменение диэлектрической проницаемости ткани при термомодификации («*») - уровень статистической значимости различий с исходным состоянием $p < 0,05$

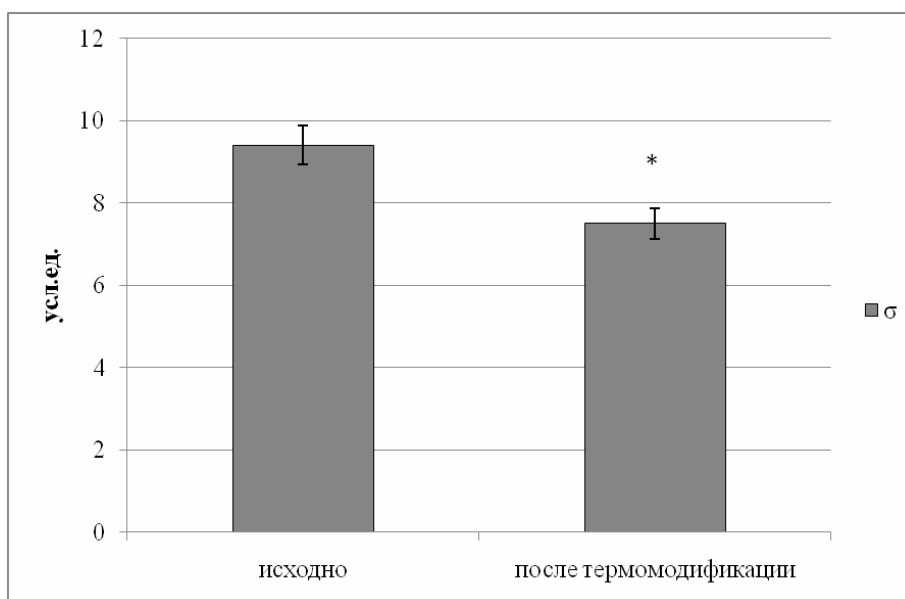


Figure 2. Изменение проводимости ткани при термомодификации («*» - уровень статистической значимости различий с исходным состоянием $p < 0,05$)

CONCLUSION

В целом, данной экспериментальное исследование позволило верифицировать сдвиги диэлектрических свойств ткани, возникающие при кратковременном воздействии на нее высокой температуры в условиях *in vitro*. При этом показано, что под влиянием указанного фактора диэлектрическая проницаемость и проводимость биообъекта существенно снижаются, что в первую очередь связано со снижением степени его гидратации. В дальнейшем предполагается уточнить влияние режима термомодификации на характер изменения диэлектрических свойств биологической ткани.

ACKNOWLEDGMENT

Исследование частично поддержано грантом РФФИ №18-42-5200053 р_а.

REFERENCES

- 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 ближнеполюсная СВЧ диагностика неоднородных сред. *Известия РАН. Серия*

физическая. **69(12)**. 1716-1720.

- Мартусевич А.К., Краснова С.Ю., Галка А.Г., Перетягин П.В., Костров А.В. (2018) Ближнеполюсное резонансное СВЧ-зондирование как метод исследования глубинной структуры ожоговой раны в эксперименте. *Современные технологии в медицине.* **10(3)**. 109-113.
- Мартусевич А.К., Янин Д.В., Богомоллова 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)**. С. 3-12.
- Резник А.Н., Юрасова Н.В. (2004) Ближнеполюсная 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.
- Naito S., Hoshi M., Mashimo S. (1997) In vivo dielectric analysis of free water content of biomaterials by time domain reflectometry. *Anal. Biochem.* **251(2)**. 163-172.
- 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.