

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ МОДУЛЯ ЮНГА В ФАНТОМНОЙ МОДЕЛИ ЛИМФЕДЕМАТОЗНОЙ ТКАНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ\*

А.А. Лохин<sup>1</sup>, Ю.В. Кистенев<sup>1</sup>, О.А. Захарова<sup>1</sup>,  
Е.А. Сандыкова<sup>2</sup>, А.В. Талецкий<sup>3</sup>, М.Е. Павлова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup> *Областное государственное автономное учреждение здравоохранения  
«Томский областной онкологический диспансер», г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования на фантомной модели возможности детектирования отека ткани, возникающего при острых и хронических воспалениях, включая лимфедему, с использованием оптической когерентной томографии. С учетом того, что для лимфедемы характерно повышенное содержание обогащенной большим содержанием белка межклеточной жидкости, фантомная модель базировалась на изменении содержания жидкости в мышечной ткани. Показано, что значение модуля Юнга ткани фантома монотонно уменьшается с увеличением массовой доли жидкости в ней.

**Ключевые слова:** отек ткани, лимфедема, оптическая томография, модуль Юнга.

### Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения лимфедема встречается у 10% населения [1]. Лимфедема – это полиэтиологическое заболевание, связанное с накоплением межклеточной белковой жидкости (лимфы), что приводит к структурным изменениям и разрастанию соединительной ткани [1–3]. В тканях усиливается гипоксия, развивается резко выраженный фиброз кожного покрова, подкожной клетчатки и фасции, вследствие чего нарастает лимфостаз [2]. Застой лимфы и связанные с этим нарушения обменных процессов создают условия, благоприятные для рецидива подкожного воспаления [3]. На гистологических срезах наблюдаются круглоклеточные инфильтраты вокруг лимфатических и кровеносных сосудов [4, 5]. Фиброз биологической ткани более выражен в нижних конечностях [3, 4].

К настоящему времени разработан ряд методов диагностики лимфедемы, начиная с первичного внешнего осмотра. Например, путем пальпации может быть предварительно определен объем воспаления [1, 3]. Метод лимфографии основан на визуализации лимфатических сосудов с использованием контрастных веществ. В прямой лимфографии контрастное вещество вводится непосредственно в узлы или в лимфатические сосуды [6–8]. В непрямом методе инъекция производится подкожно или внутримышечно в ткань, прилегающую к лимфатическим структурам [1, 5, 6, 8]. В методе флуоресцентной визуализации в область опухоли вводят флуоресцентный индикатор, который протекает через лимфатическую систему к соединительным лимфатическим узлам [6, 8, 9]. Исследование динамики развития лимфедемы методами прямой визуализации является эффективным, но ограничено возможностями применения красителей и радиотрасеров во время исследования лимфатической системы и сосудов, что повышает риск развития аллергической реакции у пациентов [8–10]. Для оценивания состояния лимфатической системы и лимфооттока используется дуплексное сканирование с помощью компьютерной томографии и МРТ [1, 2, 5, 6], что обеспечивает визуализацию лимфатических сосудов с высоким разрешением. Минусами данных способов диагностики является высокая стоимость и слишком большое время, затрачиваемое на диагностическую процедуру [6, 7].

В последние годы ультразвук высокой частоты применяется не только для исследования костно-мышечной системы, но и для визуализации слоев кожи, что может быть полезно для детектирования лимфедемы [5, 6, 10, 11]. Одним из наиболее перспективных является биоэлектрический

\* Исследование выполнено при поддержке гранта по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. (Соглашение № 075-15-2021-615 от 04.06.2021 г.).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>