

Использование открытой акустической системы Verasonics для измерения скорости сдвиговых волн в полимерных фантомах CIRS

Р. Ш. Халитов,* С. Н. Гурбатов,† И. Ю. Демин‡
 Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского,
 радиофизический факультет, кафедра акустики
 Россия, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Представлены результаты измерений скорости сдвиговой волны в калиброванных полимерных фантомах CIRS, содержащих в себе различные сферы двух диаметров, расположенные на разной глубине. Измерения были проведены на открытой акустической системе Verasonics с использованием метода SWEI.

PACS: 43.25.Zx

УДК: 534.2, 534.7

Ключевые слова: сдвиговая эластография, фантомы, модуль Юнга, скорость сдвиговых волн.

Модуль Юнга, а соответственно и модуль сдвига мягкой биологической ткани являются важными диагностическими параметрами для медицинских приложений, связанных с обнаружением опухолей и других патологий (например, фиброза печени) на ранней стадии заболевания. Это связано с тем, что объемная сжимаемость мягких тканей меняется при развитии патологий очень слабо (она близка к сжимаемости воды), в то время как изменения модуля Юнга и сдвига могут достигать нескольких порядков и поэтому обладают диагностической информативностью. В соответствии с этим, представляется разумным строить диагностическую систему не на основе продольных ультразвуковых волновых волн, а на основе сдвиговых волн, у которых скорость распространения определяется модулем сдвига, жестко связанным с модулем Юнга [1].

В настоящее время перспективным способом экспериментального определения сдвиговых характеристик мягких тканей является метод Shear Wave Elasticity Imaging (SWEI), предложенный О. В. Руденко, А. П. Сарвзяном и соавторами в 1998 году [2]. Суть метода: интенсивная ультразвуковая волна фокусируется в точке, рядом с которой необходимо определить сдвиговой модуль среды, поглощение энергии компрессионной волны в точке фокусировки приводит к излучению сдвиговой волны в среде. Прохождение сдвиговой волны регистрируется с помощью обычного ультразвукового зондирования, затем происходит расчет скорости ее распространения. Данный метод был реализован на открытой акустической системе Verasonics, находящейся в лаборатории Биомедицинских технологий «МедЛаб» на кафедре акустики Нижегородского университета. Достоинством данной системы является возможность программным образом в среде MatLAB формировать излучаемые импульсы и иметь доступ к принимаемым высоко-

частотным сигналам. Также важно отметить, что ультразвуковая диагностическая система Verasonics имеет дополнительный блок питания, позволяющий генерировать импульсы произвольной длительности и повышенной мощности, что также отличает ее от стандартной системы ультразвуковой диагностики. При проведении исследований на системе Verasonics использовался стандартный многоэлементный датчик L7-4 с параметрами: число элементов 128, размер элемента 7x0.283 мм, расстояние между соседними элементами 0.025 мм. Рабочая частота была выбрана равной 5 МГц (как для изображающих импульсов, так и для толкающего импульса) и использовалась стандартная амплитуда диагностических импульсов 50 В.

Измерения скорости сдвиговой волны в фантоме проводились следующим образом [3]:

- на поверхность полимерного фантома CIRS устанавливался многоэлементный датчик L7-4;
- строилось ультразвуковое изображение (В-скан) на частоте 5 МГц интересующей нас области фантома с использованием оригинального алгоритма построения, разработанного в лаборатории «МедЛаб» [4];
- определялись координаты объекта в плоскости изображения, и в эту точку фокусировался ультразвуковой пучок. Рассеяние ультразвуковой волны приводит к появлению радиационной силы, которая смещает выбранную область среды от исходного положения;
- по набору зависимостей смещений среды от времени (для разных расстояний от точки фокуса) определяют скорость сдвиговой волны.

На рис. 1 приведен внешний вид открытой акустической системе Verasonics.

Для проведения экспериментальных исследований и определения скорости сдвиговой волны был использован калиброванный полимерный фантом CIRS-Model 049 Elasticity QA-Phantom Spherical (рис. 2),

*E-mail: khalitovrsh@gmail.com

†E-mail: gurb@rf.unn.ru

‡E-mail: demin@rf.unn.ru

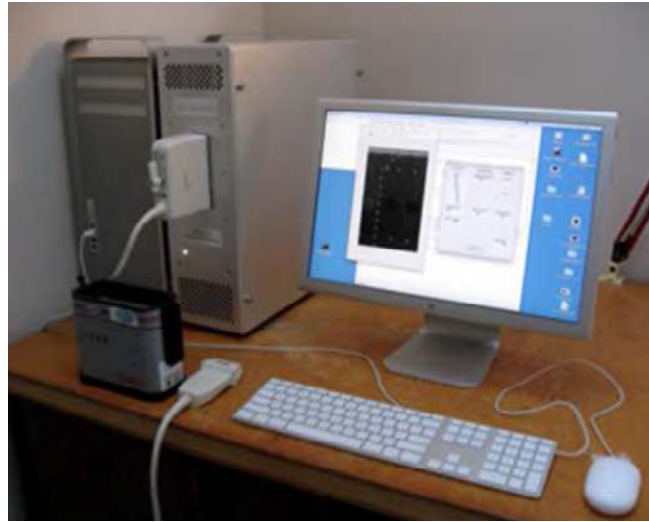


Рис. 1: Открытая акустическая система Verasonics.

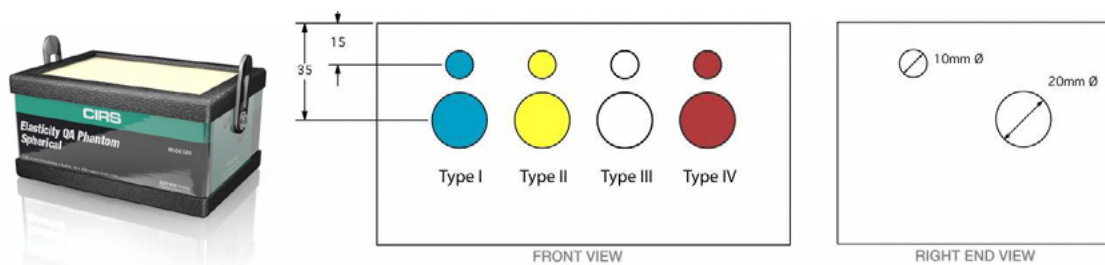


Рис. 2: Внешний вид (слева) фантома CIRS–Model 049 Elasticity QA–Phantom Spherical и распределение сфер (справа) внутри фантома.

содержащий в себе сферы двух диаметров (10 мм и 20 мм) и расположенные на разной глубине внутри фантома. Сферы были четырех типов с определенным значением модуля Юнга (Type I–IV), которые были приведены в сопровождающих фантомы документах. Данные сферы помещались в полимерную среду (Background), упругие характеристики которой также были известны. Достоинством данных фантомов является то, что они изготовлены из полимерного материала Zerdine, характеристики которого не зависят от изменения внешней температуры и прикладываемого давления. Данные фантомы многократного использования в исследованиях без ущерба для материала полимера.

В таблице ниже приведены результаты измерений скорости сдвиговой волны в полимерных фантомах CIRS–Model 049, выполненных на открытой акустической системе Verasonics, находящейся в лаборатории Биомедицинских технологий «МедЛаб».

Для резиноподобных сред, к которым относятся и исследуемые нами полимерные и желатиновые фантомы, связь между модулем сдвига (μ) и модулем Юнга (E) определяется соотношением $E = 3\mu$. Скорость сдвиговой волны определяется по формуле

$$v_{sh} = \sqrt{\mu/\rho},$$

где ρ — плотность среды. Тогда при помощи выражения $E = 3\rho v_{sh}^2$ можно выполнить пересчет скоростей сдвиговых волн в значения модуля Юнга и провести сравнение их со значениями для фантомов, которые указаны в сопровождающих документах (приведено на рис. 3).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 14-12-00882) и РФФИ (№ 15-42-02586).

[1] Ультразвук в медицине. (Под ред. К. Хилла, Дж. Бэмбера, Г. тер Хаар, ФИЗМАТЛИТ. 2008). 544 с.

[2] Sarvazyan A. P., Rudenko O. V., Swanson S. D.,

Таблица I: Результаты измерений скорости сдвиговой волны в полимерных фантомах

	Background	Type I	Type II	Type III
Сдвиговая скорость (м/с)	3.17	1.67	2.14	4.29

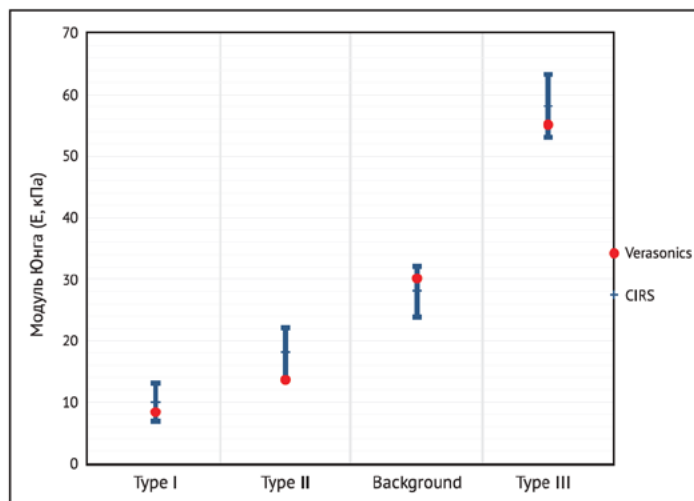


Рис. 3: Сравнение значений модуля Юнга, измеренных на Verasonics (красный маркер), и значений, указанных в фантомах CIRS с учетом допустимой погрешности (синие линии).

Fowlkes J. B., Emelianov S. Y. Ultrasound in Med. & Biol. **24**, N9. P. 1419. (1998).

[3] *Андреев В. Г., Шанин А. В., Демин И. Ю.* Акуст. журнал. **60**, № 6. С. 673. (2014).

[4] *Крайнов А. И., Гурбатов С. Н., Демин И. Ю.* Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. Вып. 4(1). С. 85. (2014).

Use of the Verasonics ultrasound system for measurement the velocity of shear waves in the CIRS phantoms

R. Sh. Khalitov^a, S. N. Gurbatov^b, I. Yu. Demin^c

*Department of Acoustics, Faculty of Radiophysics, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russia
E-mail: ^akhalitovrsh@gmail.com, ^bgurb@rf.unn.ru, ^cdemin@rf.unn.ru*

Presents the results of measurements of the velocity of shear waves in a CIRS phantom, which contained spheres of different diameters and located at different depths. The measurements were made on the Verasonics ultrasound system using the SWEI methods.

PACS: 43.25.Zx

Keywords: shear elastography, phantoms, Young's modulus, velocity of shear wave.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Халитов Руслан Шамильевич — аспирант Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского; тел: (831) 465-63-05, e-mail: khalitovrsh@gmail.com.
2. Гурбатов Сергей Николаевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой акустики; тел: (831) 465-63-05, e-mail: gurb@rf.unn.ru.
3. Демин Игорь Юрьевич — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел: (831) 465-63-05, e-mail: demin@rf.unn.ru.