

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3Д-ТРЕНАЖЕРА ПУНКЦИИ ПОДКЛЮЧИЧНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ЯРЕМНОЙ ВЕН

Варганов М.В., Леднева А.В., Проничев В.В., Кузнецов Е.П.

*ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, Ижевск, e-mail: AnnaVLed@ya.ru*

Обучение технике установки центрального венозного катетера с помощью фантомов зарекомендовало себя в качестве эффективного тренировочного инструмента для получения навыков катетеризации под контролем ультразвука. Материал для имитации мягких тканей фантома должен соответствовать по звукопроводимости биологическим тканям. Цель исследования: изучить скорость звука и эхогенность различных материалов для изготовления мягких тканей фантома катетеризации подключичной и внутренней яремной вен. Материалы и методы. Была изучена звукопроводимость материалов на основе силикона, а также трехкомпонентного композиционного материала, содержащего полиакриламид, воду и «Реамберин». Исследование скорости звука материалов для создания мягких тканей фантома проводили с помощью прибора – измерителя времени и скорости распространения ультразвука Пульсар-2.2. Результаты. Наиболее подходящий материал для создания мягких тканей фантома должен иметь следующий состав: 75 % вода, 8 % полиакриламид, 17 % «Реамберин», скорость звука в таком композите – 1500 м/с, такая же, как и средняя скорость звука в биологических тканях. Исследованные материалы для имитации мягких тканей фантома изоэхогенны биологическим тканям.

Ключевые слова: 3Д-тренажер, катетеризация центральных вен, эхогенность, звукопроводимость.

## INVESTIGATION OF ACOUSTIC PROPERTIES OF MATERIALS FOR THE CREATION OF 3D-SIMULATOR FOR PUNCTURE OF THE SUBCLAVIAN AND INTERNAL JUGULAR VEINS

Varganov M.V., Ledneva A.V., Pronichev V.V., Kuznetsov E.P.

*The Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, AnnaVLed@ya.ru*

Training in the technique of installing a central venous catheter using phantoms has proved to be an effective training tool for obtaining ultrasound-guided catheterization skills. The material for imitation soft tissues of the phantom must correspond to the acoustic conductivity of biological tissues. The purpose was to study the speed of sound and the echogenicity of various materials for fabrication of soft tissues of phantom for catheterization of subclavian and internal jugular veins. Materials and methods. The sound conductivity of materials based on silicone and a three-component composite material containing polyacrylamide, water and «Reamberin» was studied. A study of the speed of sound of materials for the creation of soft tissues of the phantom was carried out with the aid of a device—a time meter and a speed of propagation of ultrasound Pulsar-2.2. Results. The most suitable material for the creation of soft phantom tissues should have the following composition: 75 % water, 8 % polyacrylamide, 17 % «Reamberin». The speed of sound in such a composite is 1500 m/s, the same as the average speed of sound in biological tissues. The studied materials for imitation soft tissues of the phantom are isoechoic to biological tissues.

Keywords: 3D simulator, catheterization of the central veins, echogenicity, sound conductivity.

Ультразвук в настоящее время все больше входит в ежедневную практику в анестезиологии. Из большого количества его возможных применений следует выделить установку центральных венозных катетеров [1]. До недавнего времени не существовало ни национальных, ни неких общепринятых стандартов относительно обучения постановке центрального венозного катетера под контролем ультразвука. За последние годы сразу несколько обществ и ассоциаций, включая Американское Общество Анестезиологов (ASA), Американское Общество Эхокардиографии (ASE), Общество Кардиоваскулярных Анестезиологов (Society of Cardiovascular Anaesthesiologists) и Центры Контроля и

Предотвращения Распространения Заболеваний (Centers for Disease Control and Prevention) опубликовали рекомендации по проведению катетеризации под контролем ультразвука [1].

Согласно исследованиям, риск осложнений во время катетеризации центральных сосудов варьируется от 2 до 15 % [2, 3]. Эти показатели во многом зависят от опытности медицинского персонала и общего состояния пациента [4]. Ранние работы в этой области показали, что использование ультразвука может снизить число травматических осложнений и повысить процент удачных попыток катетеризации. Более современные публикации подтверждают, что применение ультразвуковой навигации во время установки центрального венозного катетера увеличивает процент успешных первых попыток катетеризации и снижает опасность повреждения близлежащих артерий [5].

Центр по контролю заболеваний (Center of Disease Control, CDC) постановил, что ультразвуковая навигация должна использоваться только теми клиницистами, которые прошли соответствующее обучение [6]. Обучение технике установки центрального венозного катетера с помощью фантомов зарекомендовало себя в качестве эффективного тренировочного инструмента для получения навыков катетеризации под ультразвуковым контролем. Результатом работы на фантомах является увеличение скорости нахождения искомых сосудов при использовании ультразвука, нежели чем при работе слепым методом; кроме того, даже неопытный персонал с помощью ультразвука достигает более высокого процента успешных попыток катетеризации при общем более высоком уровне безопасности проводимых манипуляций [7]. Исследования, рассматривающие обучение с использованием симуляторов, и последующие результаты проведенных с помощью ультразвука катетеризаций, выполненных обучившимися, позволяют признать предварительную работу на фантомах эффективным методом обучения медицинского персонала. Этот метод дает следующие результаты: значительно более высокая доля успешных канюляций с первой попытки, меньшее количество введений иглы, успешная установка катетера и меньше количество осложнений в виде пневмоторакса [8, 9].

Современные фантомы для отработки навыков катетеризации центральных вен, в частности подключичной и внутренней яремной, достаточно правдоподобны и реалистичны. Они имитируют правую половину торса взрослого человека с рукой или без нее, имеют видимые анатомические ориентиры. Некоторые фантомы предназначены для катетеризации центральных вен под ультразвуковым контролем. Но при исследовании рынка медицинских тренажеров, фантомов, невозможно найти такого, чтобы был абсолютно анатомически идентичен реальному человеку и создан из материалов, изоэхогенных биологическим тканям.

Материал для имитации мягких тканей фантома должен соответствовать по звукопроводимости биологическим тканям. Соответственно, научный поиск такого материала велся в том же ключе, что и поиск материалов для замещения дефектов мягких тканей человека. На сегодняшний день существует множество различных материалов для замещения мягких тканей. Наиболее распространены среди них полиакриламидные гидрогели для инъекционного введения, представляющие собой желеподобные вещества с тиксотропными свойствами.

**Цель исследования:** изучить скорость звука и эхогенность различных материалов для изготовления мягких тканей фантома катетеризации подключичной и внутренней яремной вен.

### Материалы и методы

Была изучена звукопроводимость материалов на основе силикона, а также трехкомпонентного композиционного материала, содержащего полиакриламид, воду и «Реамберин».

Составные части, описанные выше, смешивали в различных пропорциях, и в последующем определяли звукопроводность полученного материала.

Изготовление смесей производили в регрессионной последовательности, для каждого из компонентов изменяли массовую долю компонента от 90 % до 2 % от общей массы смеси. Таким образом, было сформировано три группы (таблица 1) по 6 образцов в каждой. А базовая часть композитной смеси постепенно увеличивалась с 2 % до 90 % по отношению к исследуемому компоненту. Формирование большего количества групп не потребовалось, так как вода и «Реамберин» – это жидкая составляющая смеси, 3 группы исследования вполне достаточно для определения необходимой звукопроводимости материала для мягких тканей фантома.

Таблица 1

Соотношение компонентов смеси образцов групп № 1–3

№№	Соотношение массовых долей								
	Вода (%)			Полиакриламид (%)			«Реамберин» (%)		
	В образце №1	В образце №2	В образце №3	В образце №1	В образце №2	В образце №3	В образце №1	В образце №2	В образце №3
1	90	2	2	2	90	8	8	8	90
2	75	8	8	8	75	17	17	17	75
3	60	14	14	14	60	26	26	26	60

4	45	20	20	20	45	35	35	35	45
5	30	26	26	26	30	44	44	44	30
6	15	32	32	32	15	53	53	53	15

Исследование скорости звука материалов для создания мягких тканей фантома проводили с помощью прибора – измерителя времени и скорости распространения ультразвука Пульсар-2.2 (рис.1). Работа прибора основана на измерении времени и скорости прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником на измеренное время. Для повышения достоверности в каждом измерительном цикле автоматически выполнялось 6 измерений, и результат формировался путем их статистической обработки с отбраковкой выбросов. Скорость распространения ультразвуковой волны в материале зависит от его плотности и упругости. Выполнялось поверхностное прозвучивание материалов сухим контактом (конусные насадки). Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения скорости распространения ультразвуковых импульсов в диапазоне скоростей от 1000 до 2499 м/с составляет  $\pm (0,02V\delta+10)$ .

### Результаты

Результаты измерения скорости ультразвука в отобранных образцах силиконов представлена в таблице 2.

Таблица 2

#### Определение звукопроводимости силиконов

№	Название силикона	Плотность (г/см <sup>3</sup> ) или вязкость материала по вязкозиметру (сек.)	V звука (м/с)
1.	Силагерм 7101	1,35 г/см <sup>3</sup>	1150 м/с
2.	Силагерм 5035	1,15г/см <sup>3</sup>	1000 м/с
3.	СКТН марка Б ГОСТ 13835-73 изм. 1-4	18000-25000 сек.(условная)	869м/с
4.	СКТН марка Е2 ТУ 2294-015-01296014-2016	Более 120000 сек.(условная)	875 м/с
5.	Силагерм 2106	90-150 сек	1100 м/с

В результате проведенного поверхностного прозвучивания силиконов наиболее приближенным к биологическим тканям по звукопроводимости оказался Силагерм 7101, это самый твердый материал (после его полимеризации). При прокалывании такого силикона медицинской иглой для инъекций место вкола не смыкается, а наоборот, после прохождения иглы остается «ход иглы», в результате чего в месте вкола иглы силиконовый материал утрачивает свою прочность и легко рвется. То есть, для имитации мягких тканей необходим более вязкий материал, но с большей звукопроводимостью, чем у силиконов.

Оценка звукопроводимости исследуемых образцов материалов на основе полиакриламида показала, что худшей звукопроводимостью обладают материалы с максимальным содержанием воды и «Реамберина». Наилучшей звукопроводимостью обладали образцы, содержащие максимальное количество полиакриламида (рис. 1).

Таблица 3

Определение звукопроводимости композита мягких тканей в образцах 1–3

№	Образец №1				Образец №2				Образец №3			
	Вода (мас. %)	Поли- акрил амид (мас. %)	Реам- берин (мас. %)	V звука (м/с)	Вода (мас. %)	Поли- акрил- амид (мас. %)	Реам- берин (мас. %)	V звука (м/с)	Вода (мас. %)	Поли- акрил- амид (мас. %)	Реам- берин (мас.%)	V звука (м/с)
1	90	2	8	1110	2	90	8	3889	2	8	90	1556
2	75	8	17	1500	8	75	17	3475	8	17	75	1706
3	60	14	26	1623	14	60	26	3010	14	26	60	1807
4	45	20	35	1766	20	45	35	2563	20	35	45	2301
5	30	26	44	1805	26	30	44	2023	26	44	30	2556
6	15	32	53	2265	32	15	53	1756	32	53	15	2704



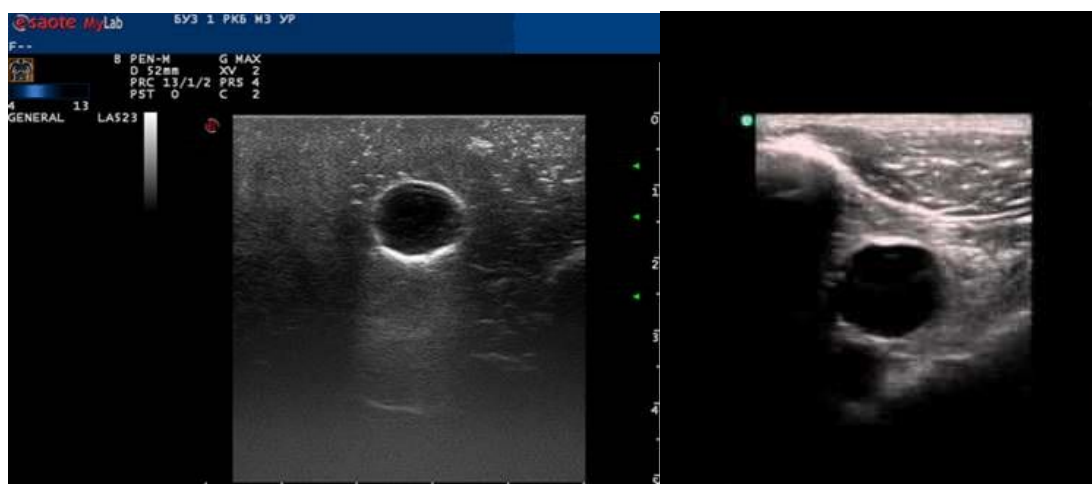
*Рис. 1. Определение скорости звука в исследуемом материале для создания мягких тканей фантома*

Исходя из полученных данных (табл. 3), можно сказать, что при увеличении основной составляющей композитного материала для создания мягких тканей фантома – полиакриламида, звукопроводимость материала повышается и достигает максимальных значений при составе смеси: полиакриламид 90 %, вода 2 %, «Реамберин» 8 % – 3889 м/с. При таких показателях массовой доли компонентов смеси и звукопроводимости – материал для создания мягких тканей фантома представляет собой плотную субстанцию, необладающую пластичными свойствами, с очень хрупкой структурой. Максимально низкая звукопроводимость достигнута за счет увеличения массовой доли жидкой составляющей смеси: 90 % – вода, 8 % – «Реамберин», 2 % – полиакриламид или 90 % «Реамберин», 8 % вода, 2 % – полиакриламид – 1110 м/с. При таких показателях состава смеси, материал представляется в виде жидкости, которую невозможно использовать для имитации мягких тканей фантома.

Наиболее подходящий материал для создания мягких тканей фантома должен иметь следующий состав: 75 % вода, 8 % полиакриламид, 17 % «Реамберин», скорость звука в таком композите – 1500 м/с, такая же, как и средняя скорость звука в биологических тканях.

Сравнивалась эхогенность материала для создания мягких тканей фантома с эхогенностью мягких тканей человека при проведении ультразвукового исследования подключичной вены. Сравнение проводилось относительно серой шкалы (В-режим). Для проведения манипуляции использовали линейный датчик с частотностью более 7 МГц.

Выявили, что эхогенность материала для создания мягких тканей соответствует эхогенности мягких тканей человека (рис. 2).



*Рис. 2. Подключичная вена фантома в поперечном срезе (слева) и подключичная вена обследуемого пациента (справа)*

### **Выводы**

1. Звукопроводимость композиционного материала для создания мягких тканей фантома составляет 1500 м/с.

2. Наиболее подходящий материал для создания мягких тканей фантома должен иметь следующий состав: 75 % вода, 8 % полиакриламид, 17 % «Реамберин», скорость звука в таком композите – 1500 м/с, такая же, как и средняя скорость звука в биологических тканях.

3. Изученные материалы для имитации мягких тканей фантома изоэхогенны биологическим тканям.

### **Список литературы**

1. Julie A. Gayle, MD, Allan David Kaye, MD, PhD Ultrasound guided central veins cannulation. AnesthesiologyNews, June 2012 (5). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.apicareonline.com/ultrasound-guided-central-venous-access-a-review-of-literature/> (дата обращения: 24.08.2017).
2. Лахин Р.Е. Клинические рекомендации (проект) по катетеризации сосудов под контролем ультразвука / Р.Е. Лахин, Э.Э. Антипин, А.Е. Баутин, В.А. Глущенко, Д.В. Заболотский, М.Н. Замятин, В.А. Корячкин, Б.А. Теплых, Д.Н. Уваров, Г.Э. Ульрих [Электронный ресурс]. – URL: <http://i.usfar.ru/u/e0/bba5ca7edf11e3a6558ce6f87377ce/-/рекомендации%20по%20узи%20сосудов.pdf> (дата обращения: 24.08.2017).

3. Market for vascular access devices and accessories [Электронный ресурс]. – URL: <http://tinyurl.com/hmlp7mb> (дата обращения: 11.08.2017).
4. Соколов Д.В. Анатомо-клинические обоснования кавакатетеризации через подключичную вену: дис. ... канд. мед. наук (14.00.02) / Д.В. Соколов; Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. – Санкт-Петербург, 2004. – 230 с.
5. Troianos C.A. Guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists./ C.A. Troianos, G.S. Hartman, K.E. Glas, et al. // J. Am SocEchocardiogr. – 2011. – Vol. 24, no. 12. – P. 1291-1318.
6. O'Grady N.P. Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. Guidelines for the prevention of intravascular catheter related infections. / N.P. O'Grady, M. Alexander, L.A. Burns, et al. // Am J Infect Control. – 2011. – Vol. 39, no. 4, suppl. 1. – P. 1-34.
7. Sekiguchi H. A prerotational, simulation-based workshop improves the safety of central venous catheter insertion: results of a successful internal medicine house staff-training program. / H. Sekiguchi, J.E. Tokita, T. Minami, L.A. Eisen, P.H. Mayo, M. Narasimhan // Chest. – 2011. – Vol. 140, no. 3. – P. 652-658.
8. Evans L.V. Simulation training in central venous catheter insertion: improved performance in clinical practice. / L.V. Evans, K.L. Dodge, T.D. Shah, et al. // Acad Med. – 2010. – Vol. 85, № 9. – P. 1462-1469.
9. Ma I.W. Use of simulation-based education to improve outcomes of central venous catheterization: a systematic review and metaanalysis / I.W. Ma, M.E. Brindle, P.E. Ronksley, D.L. Lorenzetti, R.S. Sauve, W.A. Ghali // Acad Med. – 2011. – Vol. 86, no. 9. – P. 1137-1147.