

# Сравнительный анализ технологий ультразвуковой эластографии с использованием эластографического фантома

Н. С. Кульберг\*,<sup>1,2</sup>, Л. В. Осипов<sup>1</sup>, М. С. Усанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Научно-практический центр медицинской радиологии»  
Департамента здравоохранения, Москва

<sup>2</sup> ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Институт управления» РАН, Москва

## Comparative Analysis of the Elastography Technologies in Ultrasonic Diagnostic Devices Using Elastography Phantom

N. S. Kulberg\*,<sup>1,2</sup>, L. V. Osipov<sup>1</sup>, M. S. Usanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Practical Radiology Center of the Department of Healthcare of Moscow

<sup>2</sup> Federal Research Center «Computer Science and Control» RAS, Moscow

### Реферат

Целью работы является сопоставление технологий эластографии, предоставляемых различными производителями ультразвуковой аппаратуры. В тестировании участвовала разработанная авторами статьи отечественная технология «Эластографика». На всех приборах исследовались одни и те же неоднородности ультразвукового эластографического фантома. Основное внимание уделяется сравнению точности оценки физических свойств исследованных объектов.

**Ключевые слова:** эластография, компрессионная эластография, эластография сдвиговой волны, технология ARFI, эластографический фантом, импортозамещающие технологии.

### Abstract

Our goal in current work is to compare existing elastography technologies, provided by different ultrasound diagnostic devices manufacturers. The domestic technology «Elastografica», developed by authors also participated in the comparison. Every device that took part in the comparison was tested with the same masses of breast elastography phantom. We focused on evaluating physical properties of investigated objects.

**Key words:** Elastography, Real Time Elastography, Shear-Wave Elastography, Acoustic Radiation Force Impulse Imaging (ARFI), Elastography Phantom, Import-Substitution Technologies.

\* **Кульберг Николай Сергеевич**, кандидат физико-математических наук, руководитель отдела ГБУЗ «Научно-практический центр медицинской радиологии» Департамента здравоохранения г. Москвы.  
Адрес: 109029, г. Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1.  
Тел.: +7 (495) 671-56-48. Электронная почта: kulberg@npcmr.org.ru

**Kulberg Nikolaj Sergeevich**, Ph. D. in Engineering, Head of Department Scientific Practical Radiology Center of the Department of Healthcare of Moscow.  
Address: 28/1, ul. Srednjaja Kalitnikovskaja, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 (495) 671-56-48. E-mail: kulberg@npcmr.org.ru

## Актуальность

В основе всех технологий эластографии лежит оценка различий жесткости тканей: исследуются те же изменения в тканях, что и при традиционной ручной пальпации.

При физическом воздействии на орган участки разной жесткости деформируются различным образом.

Степень деформации измеряется по ряду последовательных ультразвуковых изображений объекта. По разности смещений делается сравнительная оценка жесткости тканей.

В роли деформирующего воздействия могут выступать ручная компрессия и естественные движения органов при дыхании и сердцебиении (компрессионная эластография — КЭ), низкочастотная вибрация (виброэластография), действие специально сформированного акустического импульса (эластография сдвиговой волны — ЭСВ) [1, 2].

Диагностическая информация при эластографическом обследовании представляется в виде «карты жесткости», а также в виде вспомогательных численных параметров.

В частности, на визуальном анализе «карты жесткости» основана шкала Tsukuba [7], призванная определить степень злокачественности новообразования. Другие известные направления, например описанные в работах [5, 6, 8], также опираются, прежде всего, на анализ визуальных различий участков эластограммы. Среди численных параметров при компрессионной эластографии оценивают «отношение деформаций» (Strain Ratio), вычисляемое по выделенным областям интереса. В технологиях ЭСВ анализируется скорость распространения волны или величина модуля Юнга.

В настоящее время очевидно, что эластография способна заметно повысить информативность ультразвукового исследования. Подобные технологии уже внедрены в большинство УЗД-аппаратов среднего класса и выше. Компании-производители ультразвуковых приборов используют различные методы эластографии [1], которые получили свои фирменные названия: Real-Time Tissue Elastography HI-RTE (Hitachi Medical Corp.), eSie Touch или Virtual Touch Imaging (Siemens Healthcare), Elasto-Q (Toshiba Medical Systems), Elastoscan (Samsung Medison), просто Elastography (GE Healthcare, Philips Healthcare) и т. д.

При значительном разнообразии технологий большое значение имеет вопрос объективизации результатов исследования и одновременно совершенствования клинической интерпретации полученных результатов.

Существует ряд исследований, в которых подвергаются сравнению технологии различных фирм (например, работа [4]). Однако в таких работах, как правило, используются данные разных приборов, полученные на разных пациентах, что затрудняет объективное сравнение технологий.

**Цель:** исследовать, как могут проявить себя различные технологии эластографии при обследовании одного и того же объекта.

## Материалы и методы

В тестировании были задействованы следующие приборы:

- Toshiba Aplio 500;
- Hitachi HiVision Ascendus;
- Philips HD9;
- Aixplorer V7;
- GE Logiq E9 XDClear;

- Siemens Acuson S3000;
- «Сономед-500» (компания «Спектротромед», Москва) с технологией «Эластографика».

На всех приборах исследовались одни и те же неоднородности ультразвукового эластографического фантома ВР1901 производства фирмы Blue Phantom (США) (рис. 1).

Основное внимание уделялось инструментальной точности измерения физических свойств объекта без попыток связать их с какими-либо вероятными аналогами, которые могут встретиться при исследовании живых тканей. Во всех случаях точность построения эластограммы и вычисления численных параметров была решающим фактором оценки качества каждой конкретной технологии в целом. Поэтому главным критерием оценки было то, насколько различимыми оказываются исследуемые неоднородности на эластограмме, а также насколько надежны при этом результаты проводимых численных оценок.

### Особенности технологий по способу применения

В ходе исследования учитывались следующие различия технологий, которые важно знать исследователю:

Компрессионная эластография, использующая произвольные колебания руки исследователя и естественные движения пациента (дыхание, сердцебиение): Hitachi, Philips, Siemens. Если на этих приборах применять более выраженную компрессию, эластограмма может не получиться.

Компрессионная эластография, требующая периодических нажатий на датчик: Toshiba, GE. На этих приборах для получения эластограммы желательны выраженные ритмичные движения датчиком.

Компрессионная эластография, которая может работать в обоих вышеназванных режимах («Эластографика»). В этом случае эластограмма формируется как при слабых спонтанных движениях, так и при намеренных периодиче-

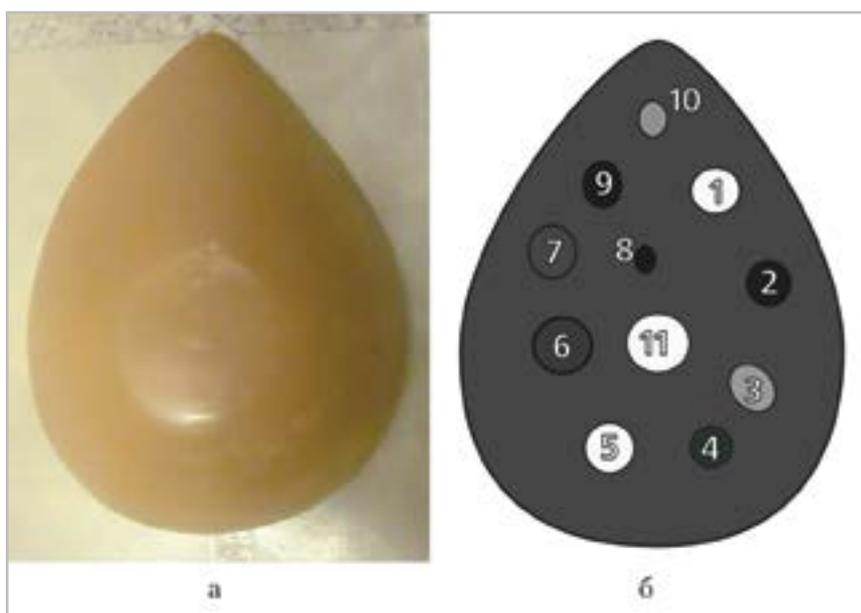


Рис. 1. Эластографический фантом: *а* — внешний вид; *б* — примерная схема расположения неоднородностей

ских нажатиях на датчик; исследователь выбирает оптимальную компрессию исходя из вида получаемых изображений.

Эластография сдвиговой волны (Aixplorer, Siemens) — при использовании режима датчик следует держать неподвижно; кроме того, от пациента может потребоваться задержка дыхания.

Первые три способа различаются главным образом по техническим навыкам, которых они требуют от исследователя; с точки зрения диагностической информативности они показывают сходные результаты. Четвертый, помимо этого, имеет специфические диагностические особенности, которые необходимо учитывать.

В частности, особенностью ЭСВ является возможность получения объективных численных характеристик исследуемой ткани, дающих возможность сравнивать не только объекты в пределах одного кадра, но и сопоставлять результаты измерений с данными, полученными в других опытах.

### **Особенности технологий по способу представления результатов**

В процессе исследований рассматривались следующие особенности для различных технологий:

- цветовое кодирование жесткости (все производители и все технологии);
- серошкальное кодирование жесткости: Siemens, «Сономед», Philips;
- численное отображение измеренных физических свойств среды: модуля Юнга (Aixplorer) или скорости сдвиговой волны (Siemens);
- отображение числового соотношения степени деформации выделенных областей интереса (Strain Ratio): Toshiba, Hitachi, GE, Philips, «Сономед»;

Отображение графиков относительной деформации для выделенных областей интереса (Philips, GE).

В большинстве случаев эластограмма отображается в виде полупрозрачного окна, наложенного на В-изображение. При использовании компрессионной эластографии чаще всего используется палитра, в которой увеличение жесткости ткани обозначается переходом цветов от красного через желтый и зеленый к синему. При отображении в оттенках серого темные области соответствуют большей жесткости.

При использовании ЭСВ использование цветов палитры, используемой по умолчанию, отличается от вышеуказанного: смена цветов происходит в обратном направлении, мягкие ткани отображаются синим цветом, а жесткие — красным. Это относится и к прибору Siemens, в котором представлены как КЭ, так и ЭСВ: в зависимости от выбранного режима по умолчанию включаются различные палитры. Разумеется, для всех технологий и приборов существует возможность выбора альтернативных палитр.

Технология ЭСВ допускает два способа представления результатов: в виде скорости сдвиговой волны, измеряемой в м/с, и в виде модуля Юнга, измеряемого в килопаскалях. Эти величины связаны друг с другом по формулам

$$E = 3\rho V_s^2; V_s = \sqrt{\frac{E}{3\rho}}. \quad (1)$$

Если скорость сдвиговой волны измеряется непосредственно, то для оценки модуля Юнга требуется информация о плотности среды. Важно учитывать, что выражения (1) нелинейны, поэтому от-

ношения  $V_{s1}/V_{s2}$  и  $E_1/E_2$ , измеренные в одних и тех же условиях, будут различны. В частности, в табл. 2 представлены отношения скорости сдвиговой волны, измеренные на приборе Siemens, они равны 1,6 и 1,8; это соответствует отношению модулей Юнга 2,56 и 3,24. С точки зрения физического смысла отношение деформаций, измеряемое при компрессионной эластографии, ближе к отношению модулей Юнга.

В приборе Siemens представлено три режима ЭСВ, основанных на технологии ARFI:

- Virtual Touch Tissue Imaging (VTTI);
- Virtual Touch Tissue Quantification (в литературе встречаются сокращения VTQ [3] или VTTQ [9]);
- Virtual Touch Image Quantification (VTIQ).

Технология VTTI строит эластограмму, наложенную на В-изображение, без возможности численной оценки скорости сдвиговой волны; технология VTTQ выполняет локальную оценку скорости сдвиговой волны без построения эластограммы; технология VTIQ формирует эластограмму и предлагает численную оценку скорости сдвиговой волны. Две последние технологии показали несколько различные результаты численной оценки для одних и тех же объектов, что будет показано ниже.

### Описание эластографического фантома

Фантом представляет собой силиконовый макет молочной железы размером  $170 \times 120 \times 45$  мм. Его фотография представлена на рис. 1, а. Внутри него размещены искусственные неоднородности, в том числе имитации кист и микрокальцинатов. Изготовитель фантома не сообщает никаких сведений о расположении неоднородностей в фантоме или о

жесткости конкретных образований, но только декларирует существование объектов различных размеров, жесткости и эхогенности. Такая неопределенность не редкость для эластографических фантомов. Так, в обзоре [10] из пяти коммерчески доступных фантомов только для двух указываются численные значения модуля Юнга в неоднородностях. Поэтому оценка характеристик тестовых объектов была одной из промежуточных задач нашей работы.

В ходе исследования нами было обнаружено 11 неоднородностей. Для каждой неоднородности выполнена оценка жесткости по отношению к фону следующим образом. Делались три последовательных измерения по одной технологии. Если все три измерения показывали жесткость более 1,1, объект признавался жестким; если менее 0,9 — мягким. В противном случае объект признавался неразличимым для конкретной технологии. Эта процедура повторялась для всех технологий. Далее находилась обобщенная оценка жесткости: она представляет собой среднее арифметическое всех «удачных» оценок, если таковые были. Иначе объект признается неотличимым по эластичности от фона (относительная жесткость равна 1).

В табл. 1 собраны описания неоднородностей (эхогенность относительно фона, размеры, жесткость относительно фона). Схема расположения объектов, выполненная по результатам наблюдений, представлена на рис. 1, б.

### Результаты и их обсуждение

При эластографическом обследовании объекты 1, 5 и 11 оказались очень схожи между собой. То же можно сказать о группе объектов 2, 8 и 9, которые различаются только размерами. Из этих

Таблица 1

## Описание неоднородностей фантома по результатам наблюдений

№	Описание	Размеры, мм	Оценка отношения жесткости объекта к фону*
1	Гиперэхогенный неоднородный объект	14	2–3
2	Имитация кисты	13	—
3	Гиперэхогенное неоднородное образование в жесткой оболочке	14 × 11	1 (содержимое), 2 (оболочка)
4	Гипоэхогенный неоднородный объект	13	0,8
5	Гиперэхогенный неоднородный объект	14	2–3
6	Изоэхогенный неоднородный объект	14 × 11	1
7	Гипоэхогенный неоднородный объект	8 × 6	1
8	Имитация кисты	9 × 6	—
9	Имитация кисты	14 × 11	—
10	Гиперэхогенный объект в жесткой оболочке	10 × 7	1 (содержимое), 1,5 (оболочка)
11	Гиперэхогенный неоднородный объект	15	2–3

*Примечание:* \* — представлена обобщенная оценка по результатам измерений на всех приборах, задействованных в работе.

групп нами отобрано по одному характерному объекту для подробного описания (1 и 2).

Объекты 6 и 7 с точки зрения всех тестируемых технологий оказались неотличимы от фона (отношение деформации равно 1 с точностью до шума).

Объекты 3, 4, 10 на разных технологиях отображались различным образом, поэтому им будет уделено особое внимание.

Мы представим результаты наблюдений пяти характерных объектов. Представленные объекты показаны в порядке возрастания сложности интерпретации результатов.

**Объект 1** является наиболее контрастным и легким для интерпретации (рис. 2, табл. 2). Все задействованные в исследовании приборы и технологии показывают эластограммы, на которых в режиме цветовой палитры или в оттенках серого цвета отчетливо виден жесткий объект. Различия касаются главным образом выбора цветовой палитры, а также способов интеграции эластографического изображения с традиционной В-картиной. Таким образом, с точки зрения внешнего вида эластограммы на различных приборах примерно одинаковы. Однако оценки численных параметров различаются довольно сильно

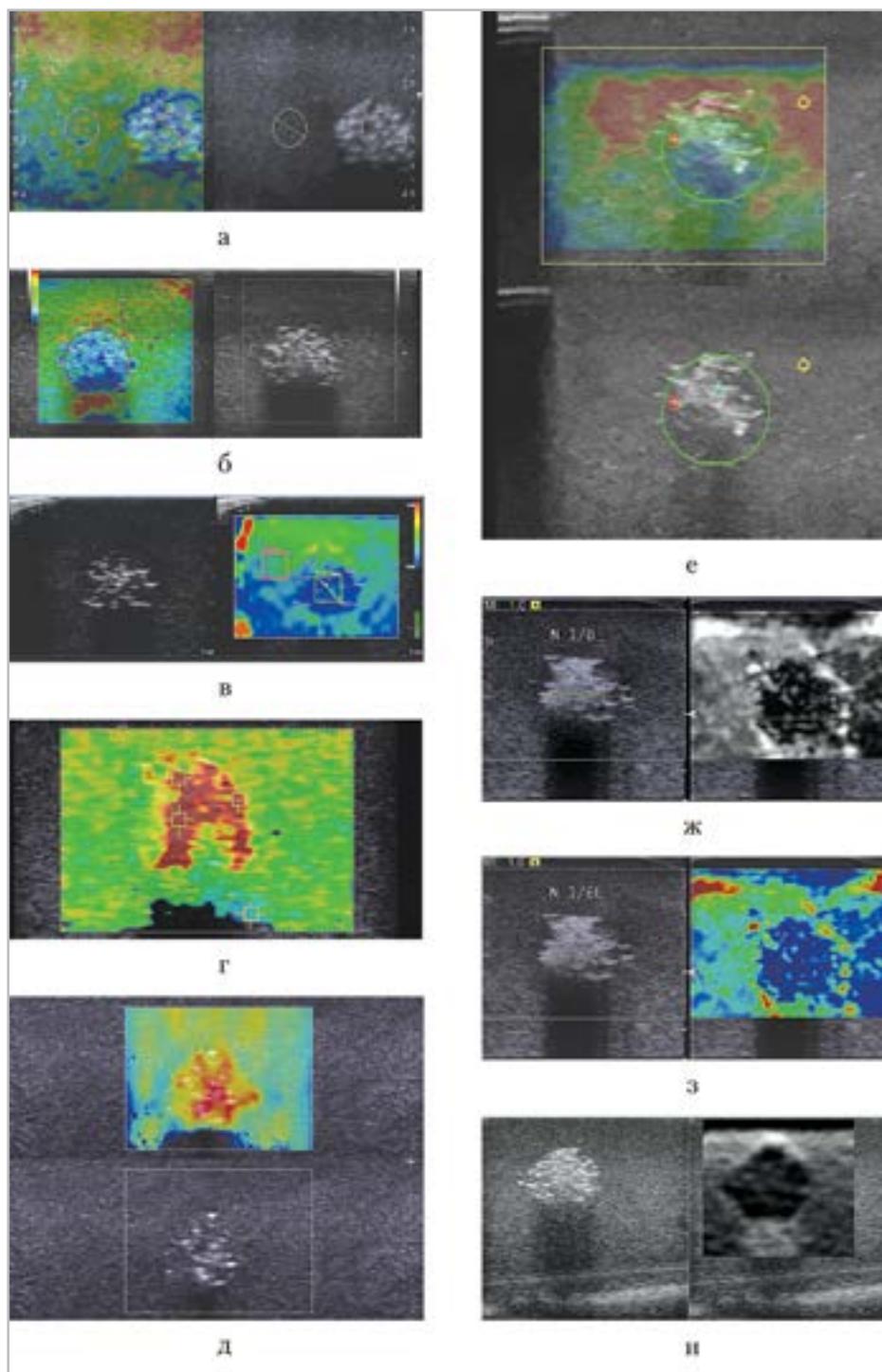


Рис. 2. Наблюдения объекта 1 (эластограммы, наложенные на В-изображения): *а* – Toshiba; *б* – Hitachi; *в* – Philips; *г* – VTIQ, Siemens; *д* – Aixplorer; *е* – GE; *ж* – КЭ в серошкальном представлении, Siemens; *з* – КЭ в цветовом представлении, Siemens; *и* – «Эластографика»

Таблица 2

## Оценки количественных показателей для объекта 1

Технология, наименование показателя	Значения оценок
Toshiba (отношение жесткости неоднородностей к фону)	2,42
Hitachi (отношение жесткости неоднородностей к фону)	3,23
Philips (отношение жесткости неоднородностей к фону)	2,54
Aixplorer (значения модуля Юнга, КПа). В скобках значения средней скорости сдвиговой волны, вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O*: 100–140 (6,3); Ф**: 60–80 (4,8); O/Ф $\approx$ 2,0
GE (отношение жесткости)	2,0
Siemens VTIQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O*: 5,5 (90); Ф**: 3–4 (27–50); O/Ф $\approx$ 1,6
Siemens VTTQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O*: 7,34 (161); Ф**: 4,15 (52); O/Ф $\approx$ 1,8
«Эластографика» (отношение жесткости неоднородностей к фону)	2,5

Примечания: \* — результаты измерений для объекта; \*\* — результаты измерений для фона.

в зависимости от того, какая технология была задействована. Отношения деформации объект/фон при компрессионной эластографии составили 2,4–3,2. Отношение модулей Юнга, измеренное на приборе Aixplorer, составило 2. Скорости сдвиговой волны объекта и фона, измеренные на приборе Siemens с помощью двух различных технологий, различаются между собой, однако их отношение примерно сохраняется (1,6 и 1,8).

**Объект 2** представляет собой имитацию кисты (рис. 3, табл. 3). Различные технологии интерпретируют его неоднозначно, и это непосредственно связано с тем, как жидкостные объекты реаги-

руют на сжатие и как они взаимодействуют со звуковыми колебаниями. На В-изображении эти объекты гипо- или анэхогенны, поэтому в принятых из них сигналах отношение сигнал/шум хуже, чем в среднем по картине.

Сдвиговые волны в жидкости не возникают, поэтому при использовании ЭСВ эти объекты чаще всего исключаются из рассмотрения (рис. 3, в, д). То же может быть сделано и при использовании КЭ (рис. 3, б). Там, где эти области картируются на эластограмме, они могут представляться либо заодно с окружающим фоном (рис. 3, а, в), либо в виде особо мягкого объекта (рис. 3, ж, з, и).

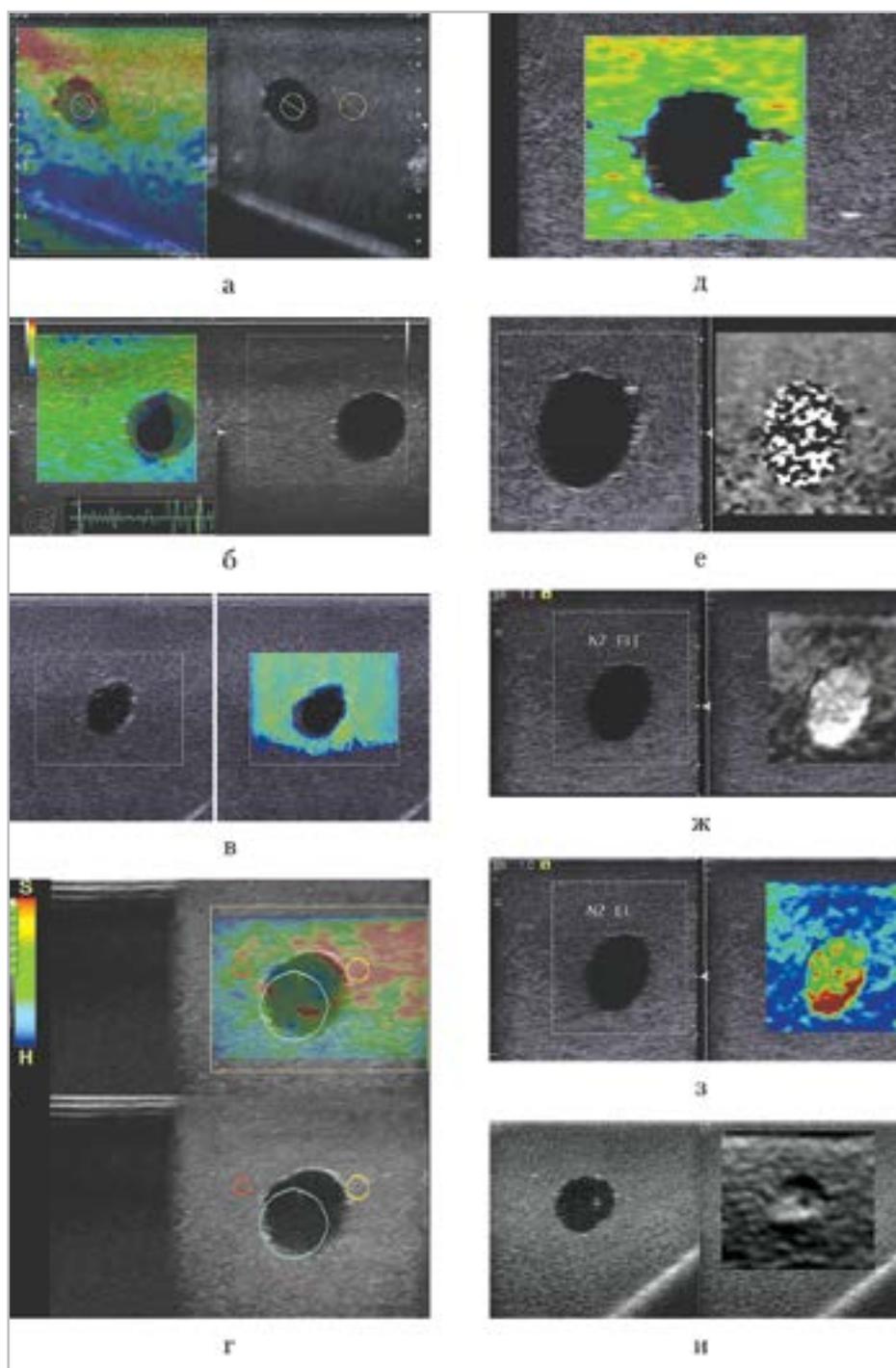


Рис. 3. Наблюдения объекта 2 (эластограммы, наложенные на В-изображения): *a* – Toshiba; *б* – Hitachi; *в* – Aixplorer; *г* – GE; *д* – VTIQ, Siemens; *е* – VTTI, Siemens; *ж* – КЭ в серошкальном представлении, Siemens; *з* – КЭ в цветовом представлении, Siemens; *и* – «Эластографика»

Таблица 3

Оценки количественных показателей для объекта 2

Технология, наименование показателя	Значения оценок
Toshiba (отношение жесткости неоднородностей к фону)	0,99
Hitachi (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,59
Philips (отношение жесткости неоднородностей к фону)	нн*
Aixplorer (значения модуля Юнга, КПа). В скобках значения средней скорости сдвиговой волны, вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O**: нет Ф***: 60–80 (4,8)
GE (отношение жесткости)	1,8
Siemens VTIQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O**: нет; Ф***: 3–4 (27–50)
Siemens VTTQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	O**: нет; Ф***: 4 (50)
«Эластографика» (отношение жесткости неоднородностей к фону)	3 (кайма); 0,5 (содержимое)

Примечания: \* – нет наблюдений; \*\* – результаты измерений для объекта; \*\*\* – результаты измерений для фона.

При этом на 3, и наблюдается трехслойная структура «бычий глаз» (bullseye), отмечавшаяся неоднократно в других работах (например, [4]). Интересен случай, когда основанная на ЭСВ технология работает без исключения кисты (рис. 3, e): содержимое кисты представляется случайной шумовой картиной.

**Объект 3** не отличается по жесткости от фона с точки зрения большинства технологий (рис. 4, табл. 4). Неоднородность в виде жесткой оболочки видна на компрессионных эластограммах

Siemens (рис. 4, d, e, z) и «Эластографика» (рис. 4, u). На последнем измерено отношение жесткости каймы к фону, оно составило 2. Данное явление описано в литературе под названием «яичная скорлупа» (eggshell) [2, 5]. В подобных случаях может оказаться, что жесткая оболочка объекта маскирует более мягкое содержимое, таким образом, делать выводы об эластичности внутренности объекта затруднительно.

**Объект 4** при визуальном анализе эластограмм оказался неотличим от

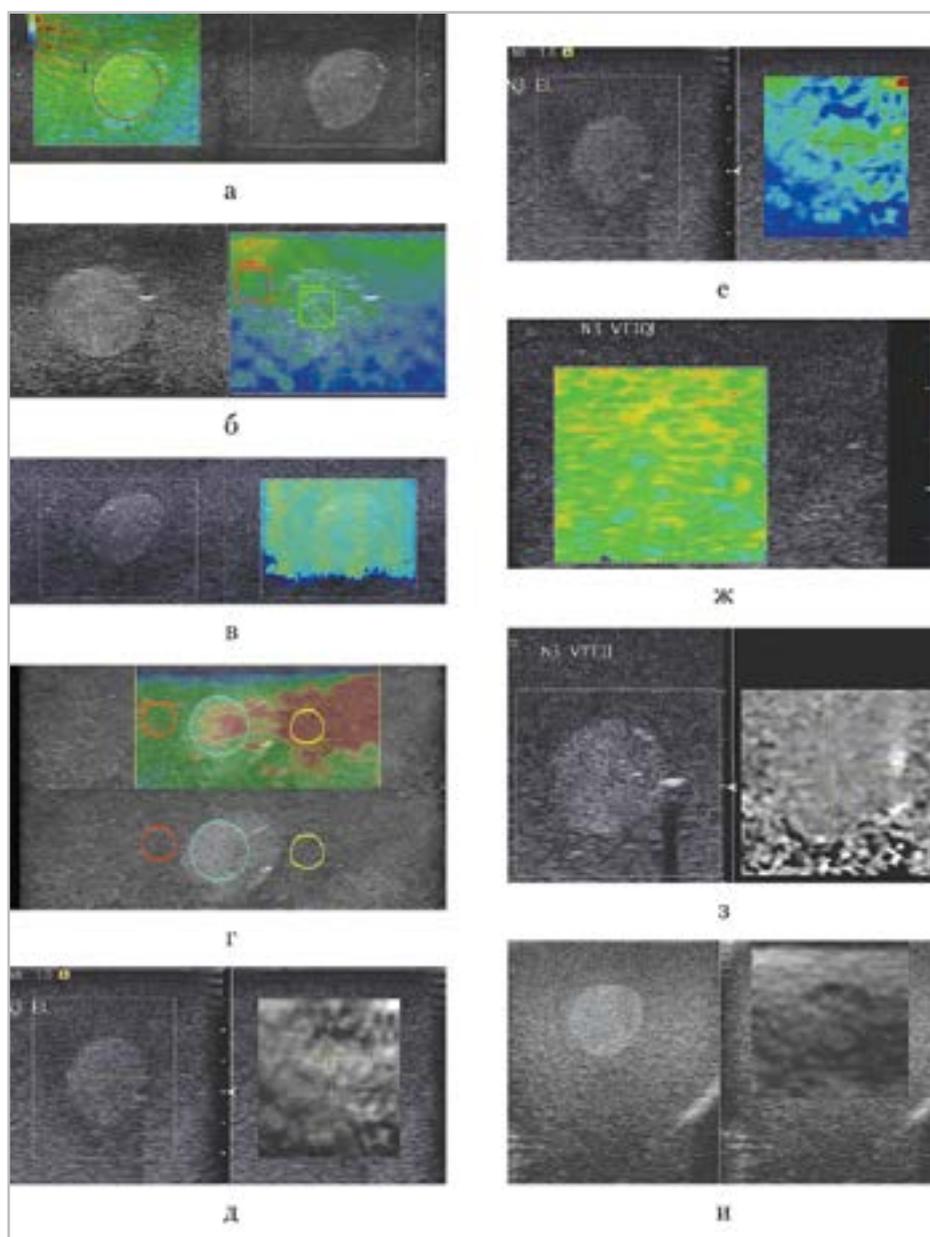


Рис. 4. Наблюдения объекта 3 (эластограммы, наложенные на В-изображения): *а* – Hitachi; *б* – Philips; *в* – Aixplorer; *г* – GE; *д* – КЭ в серошальном представлении, Siemens; *е* – КЭ в цветовом представлении, Siemens; *ж* – VTIQ, Siemens; *з* – VTPI, Siemens; *и* – «Эластографика»

Таблица 4

Оценки количественных показателей для объекта 3

Технология, наименование показателя	Значения оценок
Toshiba (отношение жесткости неоднородностей к фону)	нн*
Hitachi (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,19
Philips (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,15
Aixplorer (значения модуля Юнга, КПа). В скобках значения средней скорости сдвиговой волны, вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	$O^{**}$ : 60–80 (4,8); $\Phi^{***}$ : 60–80 (4,8); $O/\Phi \approx 1$
GE (отношение жесткости)	1–1,2
Siemens VTIQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	$O^{**}$ : 3–4, (27–50); $\Phi^{***}$ : 3–4, (27–50); $O/\Phi \approx 1$
Siemens VTTQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	$O^{**}$ : 4,2 (52); $\Phi^{***}$ : 4 (50); $O/\Phi \approx 1,0$
«Эластографика» (отношение жесткости неоднородностей к фону)	2,0 (кайма); $\approx 1,0$ (содержимое)

Примечания: \* – нет наблюдений; \*\* – результаты измерений для объекта; \*\*\* – результаты измерений для фона.

фона по жесткости для приборов Hitachi, Philips, Aixplorer, GE (рис. 5, табл. 5). Неоднородность, заметная на изображениях 5, б, г, вызвана неравномерностью компрессии в момент проведения измерений. Этим же объясняется, что отношение жесткости, измеренное на Philips, оказалось значительно более единицы. Технология VTTI дает шумовую картину, внешне похожую на изображение кисты по той же технологии, хотя здесь шум не столь выражен. На эластограмме по технологии Siemens VTIQ объект

исключен из рассмотрения. Результаты измерения скорости сдвиговой волны с помощью технологий ARFI на этом объекте также существенно различаются: по VTTQ отношение скоростей близко к единице, по VTIQ скорость измерить не удалось. На компрессионной эластограмме по технологии «Эластографика» (рис. 5, и) это мягкий объект с отношением жесткости 0,8 по отношению к фону.

**Объект 10** при визуальном анализе эластограмм оказался неотличим от

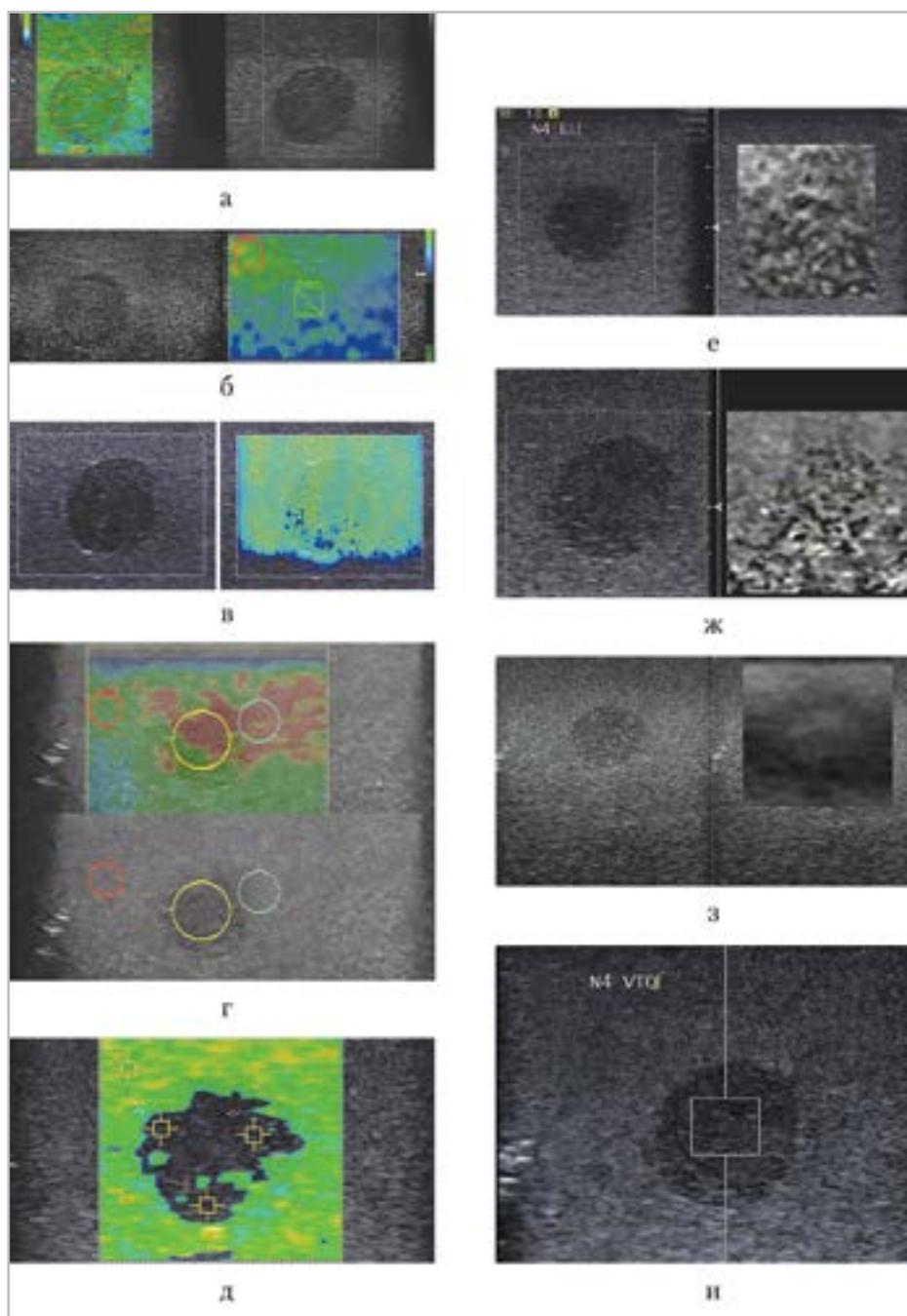


Рис. 5. Наблюдения объекта 4 (эластограммы, наложенные на В-изображения): *a* – Hitachi; *б* – Philips; *в* – Aixplorer; *г* – GE; *д* – VTIQ, Siemens; *е* – КЭ в серошкальном представлении, Siemens; *ж* – VTTI, Siemens; *з* – «Эластографика»; *и* – измерения по технологии VTTQ, Siemens

Таблица 5

## Оценки количественных показателей для объекта 4

Технология, наименование показателя	Значения оценок
Toshiba (отношение жесткости неоднородностей к фону)	нн*
Hitachi (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,16
Philips (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,49
Aixplorer (значения модуля Юнга, КПа). В скобках значения средней скорости сдвиговой волны, вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	О**: 60–80 (4,8); Ф***: 60–80 (4,8) О/Ф $\approx 1$
GE (отношение жесткости)	0,9–1,2
Siemens VTIQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	О**: нет; Ф***: 3,92 (46)
Siemens VTTQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	О**: 4,3 (56); Ф***: 4,25 (54); О/Ф $\approx 1$
«Эластографика» (отношение жесткости неоднородностей к фону)	0,8

*Примечания:* \* — нет наблюдений; \*\* — результаты измерений для объекта; \*\*\* — результаты измерений для фона.

фона по жесткости для для приборов Hitachi, Philips, Aixplorer, GE (рис. 6, табл. 6). Различия жесткости на приборе Philips (рис. 6, б) вызваны, скорее всего, неоднородностью компрессии. На компрессионных эластограммах Siemens неоднородность условно различима, так же как на эластограмме по технологии VTIQ. На эластограмме по технологии «Эластографика» виден объект в жесткой оболочке (эффект «яичной скорлупы»), относительная жесткость оболочки к фону составляет 1,5.

пы»), относительная жесткость оболочки к фону составляет 1,5.

### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для контрастных объектов (отношение жесткости более 2 или менее 0,5) все исследованные технологии показывают сходные результаты с высокой степенью достоверности;

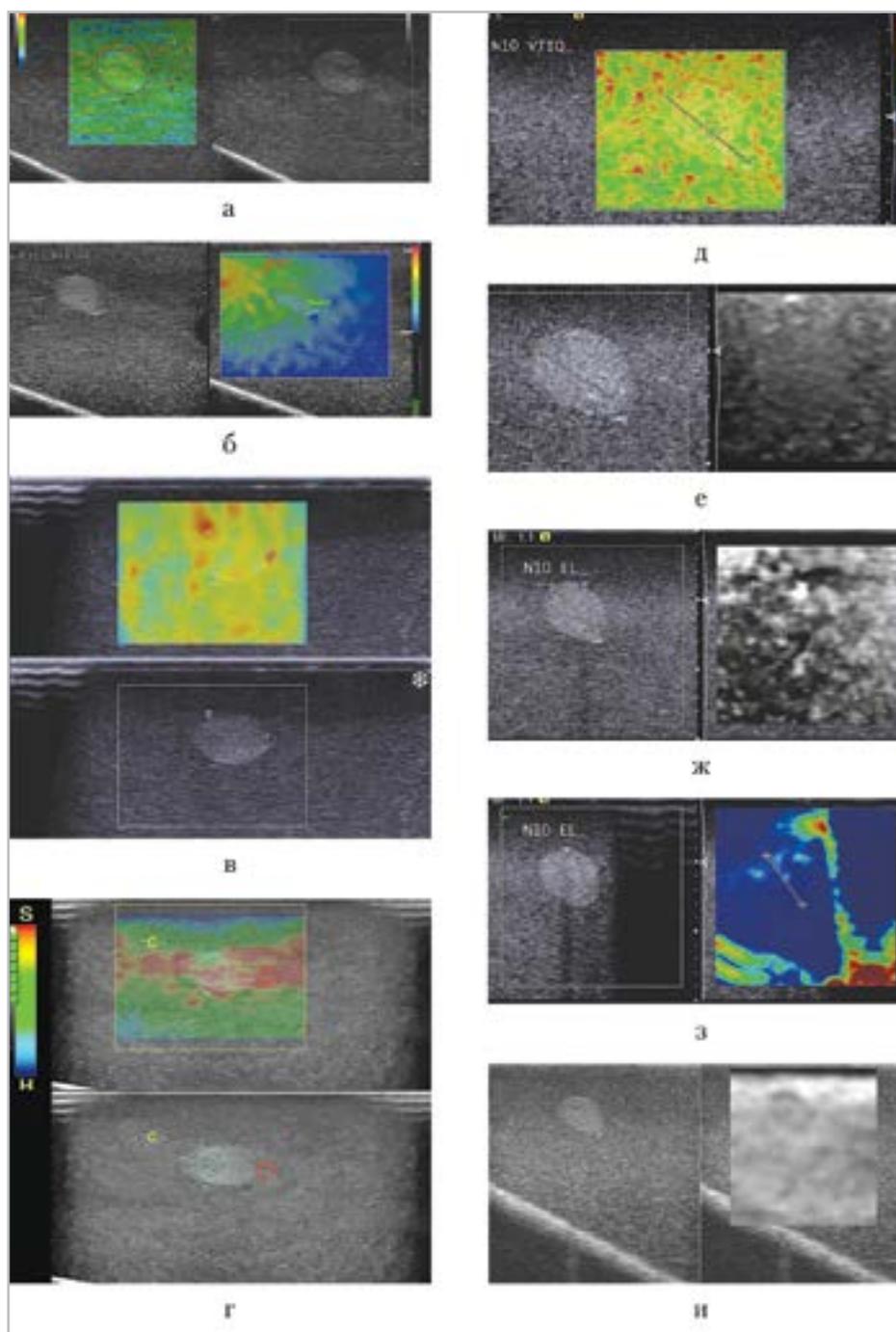


Рис. 6. Наблюдения объекта № 10 (эластограммы, наложенные на В-изображения): *a* – Hitachi; *б* – Philips; *в* – Aixplorer; *г* – GE; *д* – VTIQ, Siemens; *е* – VTPI, Siemens; *ж* – КЭ в серошальном представлении, Siemens; *з* – КЭ в цветовом представлении, Siemens; *и* – «Эластографика»

Таблица 6

Оценки количественных показателей для объекта 5

Технология, наименование показателя	Значения оценок
Toshiba (отношение жесткости неоднородностей к фону)	нн*
Hitachi (отношение жесткости неоднородностей к фону)	≈1
Philips (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1–2,4
Aixplorer (значения модуля Юнга, КПа). В скобках значения средней скорости сдвиговой волны, вычисленные по формуле (1), в предположении кг/м <sup>3</sup>	О**: 60–80 (4,8); Ф***: 60–80 (4,8); О/Ф ≈ 1
GE (отношение жесткости)	0,9
Siemens VTIQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении кг/м <sup>3</sup>	О**: 4,2 (53); Ф***: 3,9 (45); О/Ф = 1,1
Siemens VTTQ (скорость сдвиговой волны, м/с). В скобках значения модуля Юнга (КПа), вычисленные по формуле (1), в предположении кг/м <sup>3</sup>	О**: 4 (50) Ф***: 4,1 (51) О/Ф = 0,95
Эластографика (отношение жесткости неоднородностей к фону)	1,5 (оболочка) 1 (содержимое)

Примечания: \* – нет наблюдений; \*\* – результаты измерений для объекта; \*\*\* – результаты измерений для фона.

- Содержимое кисты в различных технологиях может интерпретироваться по-разному. Наиболее частым вариантом является автоматическое исключение соответствующего участка из анализа; возможно также представление содержимого кисты как особо мягкого или как изоэластичного объекта, или в виде трехслойной структуры типа «бычий глаз».
- Из анализа эластограмм можно предположить, что для малоконтрастных объектов (отношение жесткости в диапазоне от 0,7 до 1,5) визуальная оценка относительной жесткости в оттенках серого более информативна, чем при цветовом кодировании (ср. попарно рис. 4, д и 4, е, 4, ж и 4, з, б, д и 6, е, а также 6, ж и 6, з).
- Гиперэхогенные малоконтрастные объекты оцениваются на эластограмме более достоверно, чем гипоэхогенные (ср. рис. 4 и 5).
- Дополнительным источником информации может служить численное значение отношения жесткости для выделенных объектов даже в тех случаях, когда по цветовой шкале различий не заметно. Однако возможно существенное искажение информации, вызванное неравномерностью компрессии (см. рис. 4, б, г; 5, б, г и соответствующие строки в табл. 4 и 5).

6. На малоконтрастных объектах КЭ показала большую чувствительность по сравнению с ЭСВ (ср. рис. 4, в, ж, з с рис. 4, е, д, и; также рис. 6, в, д, е с рис. 6, г, з, и).
7. Наибольшая точность построения эластограмм достигается с использованием технологии «Эластографика». Особенно это заметно на малоконтрастных объектах (см. рис. 6, и; 5, з; 4, и). Таким образом, отечественная технология показала результаты, не уступающие ни одному из импортных аналогов, а в ряде случаев и превосходящие их.

### Список литературы

1. *Осипов Л. В.* Ультразвуковые диагностические приборы: Режимы, методы и технологии. М.: Изомед, 2011. 312 с.
2. *Осипов Л. В.* Технологии эластографии в ультразвуковой диагностике (обзор) // *Диагностическая радиология и онкотерапия. Медицинский алфавит.* 2013. № 3–4. С. 30–46.
3. *Bai M. et al.* Virtual touch tissue quantification using acoustic radiation force impulse technology: initial clinical experience with solid breast masses // *J. Ultrasound Med.* 2012. Feb. V. 31. № 2. P. 289–294.
4. *Balleyguier C. et al.* Breast elasticity: Principles, technique, results: An update and overview of commercially available software // *Eur. J. of Radiology.* 2012. V. 82. № 3. P. 427–434.
5. *Bamber et al.* EFSUMB Guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: Basic principles and technology // *Ultraschall in Med* 2013. V. 34. № 2. P. 169–184. DOI: 10.1055/s-0033-1335205.
6. *Bamber et al.* EFSUMB Guidelines and recommendations on the clinical use of

ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications // *Ultraschall in Med* 2013. V. 34. № 3, P. 238–253. DOI: 10.1055/s-0033-1335375.

7. *Itoh A., Ueno E., Tohno E. et al.* Breast disease: clinical application of use elastography for diagnosis // *Radiology* 2006. V. 239 № 2. P. 341–350.
8. *Raza S., Odulate A., Ong E. M. et al.* Using real-time tissue elastography for breast lesion evaluation // *J. Ultrasound Med.* 2010. V. 29. № 4. P. 551–563.
9. *Xiaozhi Zheng et al.* A comparison of virtual touch tissue quantification and digital rectal examination for discrimination between prostate cancer and benign prostatic hyperplasia // *Radiol Oncol.* 2012 Mar. V. 46. № 1. P. 69–74.
10. *Cournane S., Fagan A., Browne J.* Review of ultrasound elastography quality control and training test phantoms // *Ultrasound.* 2012. February V. 20. №. 1–2. DOI: 10.1258/ult.2012.012e01.

### References

1. *Osipov L. V.* Ultrasonic diagnostic devices. Operation modes, methods, technologies. Moscow: Izomed. 2011. 312 p. (in Russian).
2. *Osipov L. V.* Elastography technologies in ultrasound diagnostics (review). *Diagnosticheskaja radiologija i onkoterapija. Medicinskij alfavit.* No. 3–4. 2013, P. 30–46 (in Russian).
3. *Bai M. et al.* Virtual touch tissue quantification using acoustic radiation force impulse technology: initial clinical experience with solid breast masses // *J. Ultrasound Med.* 2012 Feb. V. 31. No. 2. P. 289–294.
4. *Balleyguier, C. et al.* Breast elasticity: Principles, technique, results: An update and overview of commercially available

- software. *European Journal of Radiology*. 2012. V. 82. No. 3. P. 427–434.
5. *Bamber et al.* EFSUMB Guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: Basic principles and technology. *Ultraschall in Med* 2013. V. 34. No. 2. P. 169–184. DOI: 10.1055/s-0033-1335205.
  6. *Bamber et al.* EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall in Med* 2013. V. 34. No. 3. P. 238–253. DOI: 10.1055/s-0033-1335375.
  7. *Itoh A., Ueno E., Tohno E. et al.* Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis. *Radiology* 2006; V. 239. No. 2. P. 341–350.
  8. *Raza S., Odulate A., Ong E. M. et al.* Using real-time tissue elastography for breast lesion evaluation. *J. Ultrasound Med.* 2010. V. 29. No. 4. P. 551–563.
  9. *Xiaozhi Zhenget al.* A comparison of virtual touch tissue quantification and digital rectal examination for discrimination between prostate cancer and benign prostatic hyperplasia. *Radiol Oncol.* 2012. Mar. V. 46. No. 1. P. 69–74.
  10. *Cournane S., Fagan A., Browne J.* Review of ultrasound elastography quality control and training test phantoms. *Ultrasound.* 2012. Feb. V. 20. No. 1–2. DOI: 10.1258/ult.2012.012e01.

#### Сведения об авторах

**Кульберг Николай Сергеевич**, кандидат физико-математических наук, руководитель отдела, ГБУЗ «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения г. Москвы».

Адрес: 109029, Москва, Средняя Калитниковская ул., 28/1.  
Тел.: +7 (495) 671-56-48. Электронная почта: kulberg@npcmr.org.ru

**Kulberg Nikolaj Sergeevich**, Ph. D. in Engineering, Head of Department, Scientific Practical Radiology Center of the Department of Healthcare of the Government of Moscow.

Address: 28/1, ul. Srednjaja Kalitnikovskaja, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 495 671-56-48. E-mail: kulberg@npcmr.org.ru

**Осипов Лев Васильевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, ГБУЗ «Научно-Практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения г. Москвы».

Адрес: 109029 Москва, Средняя Калитниковская ул., 28/1.  
Тел.: +7 (495) 671-56-48.

**Osipov Lev Vasil'evich**, Doctor of Science, Leading Researcher, Scientific Practical Radiology Center of Moscow.

Address: 28/1, ul. Srednjaja Kalitnikovskaja, Moscow, 109029, Russia.  
Phone number: +7 495 671-56-48.

**Усанов Михаил Сергеевич**, аспирант, ФГУ Федеральный исследовательский центр «Институт управления РАН».

Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2.  
Тел.: +7 (499) 135-62-60.

**Usanov Mihail Sergeevich**, Graduate Student, Federal Research Center «Computer science and control» RAS.

Address: 44/2, ul. Vavilova, Moscow, 119333, Russia.  
Phone number: +7 (499) 135-62-60.

#### Финансирование исследования и конфликт интересов.

*Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*