

# Воспроизводимость эластографии сдвиговой волной при исследовании поверхностно расположенных органов (яички)

И.М. Гогаева<sup>1</sup>, Д.Р. Рамонова<sup>2</sup>, М.Д. Митькова<sup>1</sup>,  
Ю.А. Брюховецкий<sup>1</sup>, Ю.Н. Черешнева<sup>1</sup>, В.В. Митьков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

<sup>2</sup> НЧУЗ “Научный клинический центр открытого акционерного общества «Российские железные дороги»”, г. Москва

Для оценки воспроизводимости измерений модуля Юнга при исследовании яичек было обследовано 20 пациентов (40 яичек) в возрасте от 31 до 85 лет. Критерии включения в исследование: наличие яичек с двух сторон; объем яичек более 10 мл; отсутствие клинических признаков патологии органов мошонки; отсутствие в анамнезе травмы, перекручивания, опухолей яичка и диагностированного бесплодия; неизменная ультразвуковая картина яичек в серошкальном режиме. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование проведено на аппаратах Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция) и Aplio 500 (Toshiba, Япония). Двумерная эластография сдвиговой волной демонстрирует вы-

сокую внутриоператорскую воспроизводимость измерений модуля Юнга при исследовании яичек. Коэффициент внутригрупповой корреляции – 0,95 (0,90–0,97) и 0,92 (0,85–0,97). Двумерная эластография сдвиговой волной демонстрирует высокую межоператорскую воспроизводимость измерений модуля Юнга при исследовании яичек. Коэффициент внутригрупповой корреляции – 0,91 (0,82–0,95). 95%-й интервал значений модуля Юнга в паренхиме яичек ( $n = 40$ ) на аппарате Aplio 500 2,8–9,4 кПа, скорости сдвиговой волны – 0,96–1,77 м/с; на аппарате Aixplorer – 1,8–3,9 кПа и 0,77–1,14 м/с соответственно. При сравнении значений модуля Юнга, полученных на разных приборах у одного

И.М. Гогаева – аспирант кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. Д.Р. Рамонова – врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики НЧУЗ “Научный клинический центр открытого акционерного общества «Российские железные дороги»”, г. Москва. М.Д. Митькова – к.м.н., доцент кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. Ю.А. Брюховецкий – к.м.н., доцент кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. Ю.Н. Черешнева – к.м.н., ассистент кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. В.В. Митьков – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва.

**Контактная информация:** 127299 г. Москва, ул. Новая Ипатьевка, д. 3, Клинический госпиталь ФКУЗ “МСЧ МВД России по г. Москве”, кафедра ультразвуковой диагностики. Гогаева Ирина Муравовна. Тел.: +7 (499) 150-90-61. Факс: +7 (926) 200-75-81. E-mail: irina110687@mail.ru

контингента больных, определены достоверные различия ( $P < 0,0001$ ). Значения модуля Юнга, полученные на разных приборах у одного контингента больных, не коррелируют со значениями объема яичка, возраста пациентов, индекса резистентности и пульсационного индекса во внутри-яичковых артериях.

**Ключевые слова:** ультразвуковая эластография сдвиговой волной, модуль Юнга, внутри- и межоператорская воспроизводимость, коэффициент внутригрупповой корреляции, яичко.

## ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковая эластография занимает все большее место в практической деятельности врачей ультразвуковой диагностики. Практические рекомендации по применению ультразвуковой эластографии определили место метода в диагностике заболеваний печени [1], молочной [2], предстательной [3], щитовидной [4] и поджелудочной [5] желез. В области мультипараметрической ультразвуковой диагностики заболеваний органов мошонки идет активное накопление материала. Это касается двух основных видов ультразвуковой эластографии – компрессионной эластографии и эластографии сдвиговой волной. Что касается эластографии сдвиговой волной, то к настоящему времени в рецензируемых журналах опубликованы единичные научные статьи в области диагностики рака яичка [6], мужского бесплодия [7], микролитиаза яичек [8], перекрута (перекручивания) яичек [9]. Известный факт несовпадения пороговых значений жесткости в диагностике фиброза печени у различных производителей ультразвукового оборудования [1] заставляет сопоставлять нормативные данные, полученные на разных приборах, и возвращаться к вопросу воспроизводимости эластометрических результатов.

Цель исследования – оценка воспроизводимости измерений модуля Юнга при исследовании яичек одним (внутриоператорская воспроизводимость) и разными (межоператорская воспроизводимость) врачами ультразвуковой диагностики, а также сопоставление нормативных значений, полученных на разных ультразвуковых приборах.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки воспроизводимости измерений модуля Юнга при исследовании яичек было обследовано 20 пациентов (40 яичек) в возрасте от 31 до 85 лет (медиана – 50 лет, интерквартильный размах – 41–55 лет). Критерии включения в исследование: наличие яичек с двух сторон; объем яичек более 10 мл; отсутствие клинических признаков патологии органов мошонки; отсутствие в анамнезе травмы, перекручивания, опухолей яичка и диагностированного бесплодия; неизменная ультразвуковая картина яичек в серошкальном режиме.

Все пациенты дали информированное добровольное согласие на проведение диагностической процедуры в соответствии с российским законодательством (Федеральный закон от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ “Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации”).

Мультипараметрическое ультразвуковое исследование органов мошонки с двумерной эластографией сдвиговой волной проводилось на аппаратах Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция) с использованием широкополосного линейного датчика, работающего в диапазоне частот от 4 до 15 МГц, и Aplio 500 (Toshiba, Япония) с использованием широкополосного линейного датчика, работающего в диапазоне частот от 5 до 14 МГц.

При планировании работы нами были четко определены условия проведения исследования. Методика была стандартизована с предварительным согласованием мельчайших деталей протокола. При становлении методики сначала измерения осуществлялись последовательно всеми специалистами, участвующими в исследовании, затем – вслепую. Оба этапа проходили под контролем опытного эксперта для выявления ошибок, неточностей и непонимания [10].

Техника выполнения эластографии сдвиговой волной подразумевала плавные движения датчиком, отсутствие дополнительной компрессии на исследуемый орган. При работе на аппарате Aixplorer после выбора области интереса (цветовое окно) с целью стабилизации изображения производилась фиксация положения руки в течение 4 с. При работе на аппарате Aplio 500

после выбора области интереса (цветовое окно) с целью стабилизации изображения также производилась фиксация положения руки, измерения проводились после получения адекватного (полного) окрашивания цветового окна. Во втором случае контроль качества и корректности полученного изображения и информации осуществлялся с помощью режима распространения волны (*propagation*). Глубина расположения цветового окна соответствовала рекомендациям производителей. При проведении эластографии сдвиговой волной учитывали результаты, опубликованные M. D'Anastasi et al. [11], которые не выявили связи между значениями скорости сдвиговой волны и глубиной расположения зоны интереса при оценке жесткости яичек.

Количественная оценка жесткости ткани (измерение модуля Юнга) проводилась в зонах интереса (Q-Box и T в зависимости от производителя). Зоны интереса были одинаковы по размерам и располагались на одинаковой глубине. В случае использования аппарата Aplio 500 выбор зон интереса (T) осуществлялся под контролем режима *propagation*, отображающего фронт и равномерность распространения сдвиговой волны. В каждой зоне интереса автоматически определялись различные значения модуля Юнга. Для анализа были использованы среднее значение модуля Юнга ( $E_{\text{mean}}$  или  $E_{\text{ave}}$  в зависимости от производителя) и стандартное отклонение ( $E_{\text{SD}}$ ) (рис. 1 и 2). Измерения проводились двумя независимыми исследователями.

При исследовании неизменной паренхимы яичек каждым врачом независимо друг от друга проводилось по три измерения  $E_{\text{mean}}$  (или  $E_{\text{ave}}$ ) и  $E_{\text{SD}}$  в средних отделах органа при сканировании в продольном сечении. Далее для трех измерений  $E_{\text{mean}}$  (или  $E_{\text{ave}}$ ) и  $E_{\text{SD}}$  вычислялось арифметическое среднее значение. При анализе межоператорской воспроизводимости (врач 1 и врач 2) сравнивали именно арифметические средние значения, полученные из трех измерений. При анализе внутриоператорской воспроизводимости сравнивали первое и второе измерения  $E_{\text{mean}}$  (или  $E_{\text{ave}}$ ) и  $E_{\text{SD}}$ , проведенные врачом, имеющим максимальный опыт в исследовании органа (врач 1).

Первый этап исследования состоял из оценки межоператорской и внутриопера-

торской воспроизводимости измерений модуля Юнга на аппарате Aplio 500. Вторым этапом исследования состоял из оценки внутриоператорской воспроизводимости измерений модуля Юнга на аппарате Aixplorer. На третьем этапе были проведены сопоставления данных, полученных на двух аппаратах.

Кроме того, для последующего корреляционного анализа в двумерном серошкальном режиме рассчитывали объем яичка по стандартной формуле (формула объема эллипсоида) [12]:

$$V = 0,52 \times a \times b \times c,$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – длина, толщина и ширина яичка. При импульсно-волновой доплерографии для этой же цели определяли индекс резистентности (RI) и пульсационный индекс (PI) во внутрияичковых артериях по стандартным формулам [13].

$$RI = \frac{V_{ps} - V_{ed}}{V_{ps}},$$

где  $V_{ps}$  – максимальная систолическая скорость кровотока,  $V_{ed}$  – конечная диастолическая скорость кровотока.

$$PI = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{mean}}},$$

где  $V_{\max}$  – максимальная скорость кровотока,  $V_{\min}$  – минимальная скорость кровотока,  $V_{\text{mean}}$  – усредненная по времени максимальная скорость кровотока.

Статистический анализ осуществляли с помощью программы MedCalc. Для оценки воспроизводимости вычисляли коэффициент внутригрупповой корреляции (*intra-class correlation coefficient*). Полученные результаты интерпретировали следующим образом: <0,40 – воспроизводимость плохая (слабая), 0,40–0,75 – от неплохой (не критически слабой) до хорошей, >0,75 – очень хорошая [14]. Количественные данные представлены в виде медианы (50-й перцентиль), 25–75-го перцентилей, 2,5–97,5-го перцентилей, минимального – максимального значений. Также в работе использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена и критерий Манна–Уитни для межгрупповых сравнений. При корреляционном анализе и межгрупповых сравнениях результаты считали статистически значимыми при  $P \leq 0,05$ .

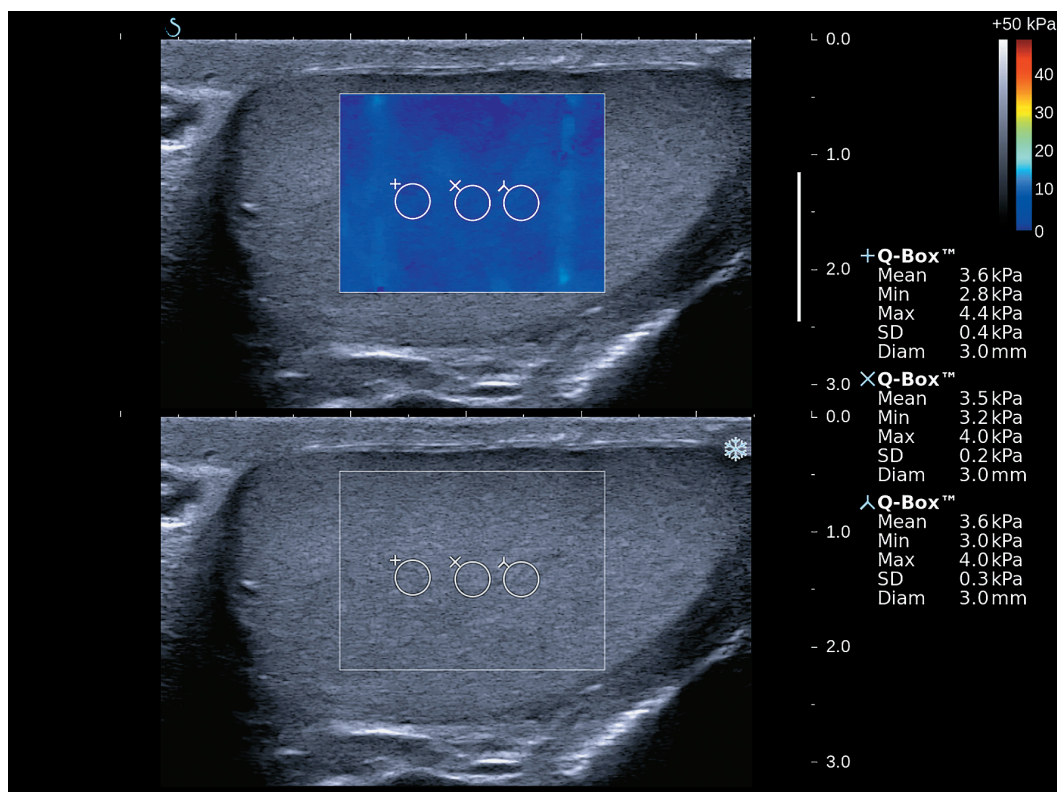


Рис. 1. Двумерная эластография сдвиговой волной. Аппарат Aixplorer. Район интереса (цветовое окно) и результаты измерения значений модуля Юнга в трех зонах интереса в области средних отделов неизмененной паренхимы.

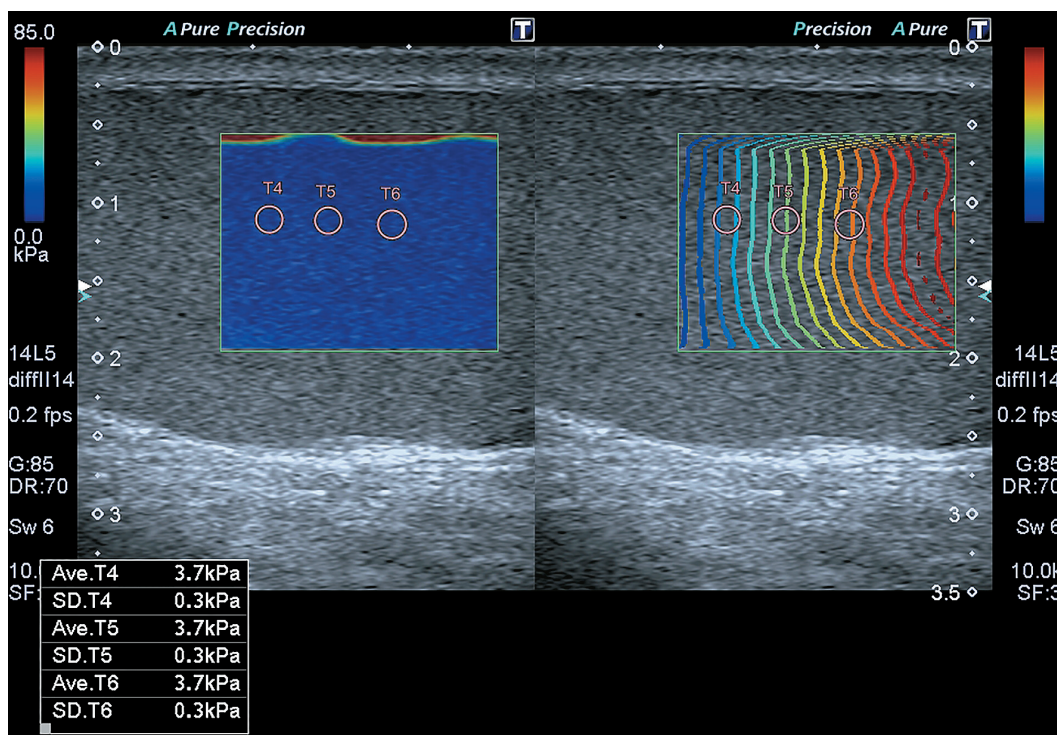


Рис. 2. Двумерная эластография сдвиговой волной. Аппарат Aplio 500. Район интереса (цветовое окно) и результаты измерения значений модуля Юнга в трех зонах интереса в области средних отделов неизмененной паренхимы. В правой половине двойного изображения режим *propagation*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При работе на аппарате Aplio 500 коэффициент внутригрупповой корреляции при измерениях  $E_{ave}$  в неизменной паренхиме средних отделов обоих яичек ( $n = 40$ ), проведенных двумя врачами (врач 1 и врач 2) (межоператорская воспроизводимость), – 0,91 (0,82–0,95) (здесь и далее в скобках 95% -й доверительный интервал); одним врачом (врач 1) (внутриоператорская воспроизводимость) – 0,95 (0,90–0,97), что говорит об очень хорошей воспроизводимости в обоих случаях.

Коэффициент внутригрупповой корреляции при оценке  $E_{SD}$  в неизменной паренхиме средних отделов обоих яичек ( $n = 40$ ), осуществленной двумя врачами (врач 1 и врач 2) (межоператорская воспроизводимость), – 0,77 (0,57–0,88); одним врачом (врач 1) (внутриоператорская воспроизводимость) – 0,84 (0,69–0,91), что говорит о достаточной однородности данных в обоих случаях.

Средние значения  $E_{ave}$  в паренхиме неизменных яичек, полученные обоими врачами, достоверно не различались (табл. 1). То же можно сказать и о значениях  $E_{SD}$ .

При оценке внутриоператорской воспроизводимости на аппарате Aixplorer (измерения проведены врачом 1) коэффициент внутригрупповой корреляции при измерениях  $E_{mean}$  в неизменной паренхиме

средних отделов обоих яичек ( $n = 40$ ) – 0,92 (0,85–0,97), что говорит об очень хорошей воспроизводимости.

Результаты высокой воспроизводимости количественных параметров эластографии сдвиговой волной при работе на аппарате Aixplorer с линейным датчиком были показаны нами ранее на другом поверхностном органе (щитовидная железа). Коэффициент внутригрупповой корреляции при измерениях  $E_{mean}$  в паренхиме неизменной щитовидной железы ( $n = 32$ ), проведенных двумя врачами (врач 1 и врач 2) (межоператорская воспроизводимость), – 0,85 (0,63–0,95); одним врачом (врач 1) (внутриоператорская воспроизводимость) – 0,95 (0,86–0,98) [10].

Наши данные совпадают с результатами других исследователей. Так, по данным Z. Sun et al. [9], результаты измерения модуля Юнга в яичках при двумерной эластографии сдвиговой волной (Aixplorer) характеризуются хорошей согласованностью ( $P < 0,05$ ). По данным L. Rocher et al. [7], внутриоператорская воспроизводимость при измерениях  $E_{mean}$  (Aixplorer) в паренхиме яичек ( $n = 1185$ ) была очень хорошей: коэффициент внутригрупповой корреляции – 0,85 (0,83–0,88).

В табл. 2. приведены значения модуля Юнга, полученные одним врачом на разных приборах при соблюдении максимально возможного приближения методик измерения.

**Таблица 1.** Значения модуля Юнга (кПа) в паренхиме неизменных яичек (средние отделы), полученные на аппарате Aplio 500 двумя исследователями ( $n = 40$ )

| Исследователи | $E_{ave}$ | $E_{SD}$ |
|---------------|-----------|----------|
| Врач 1        | 3,8       | 0,4      |
|               | 3,4–4,6   | 0,3–0,5  |
|               | 2,8–9,4   | 0,3–1,2  |
|               | 2,7–9,7   | 0,3–1,3  |
| Врач 2        | 3,9       | 0,4      |
|               | 3,5–4,7   | 0,3–0,4  |
|               | 2,9–11,7  | 0,3–2,2  |
|               | 3,0–11,8  | 0,3–2,2  |

*Примечание:* количественные данные представлены в виде медианы (первая строка ячейки), 25–75-го перцентилей (вторая строка ячейки), 2,5–97,5-го перцентилей (третья строка ячейки), минимального – максимального значений (четвертая строка ячейки).

**Таблица 2.** Значения модуля Юнга (кПа) в паренхиме неизменных яичек (средние отделы), полученные на аппаратах Aplio 500 и Aixplorer одним исследователем ( $n = 40$ )

| Значения модуля Юнга     | Aplio 500 | Aixplorer |
|--------------------------|-----------|-----------|
| $E_{ave}$ или $E_{mean}$ | 3,8*      | 2,6       |
|                          | 3,4–4,6   | 2,3–3,0   |
|                          | 2,8–9,4   | 1,8–3,9   |
|                          | 2,7–9,7   | 1,8–4,0   |
| $E_{SD}$                 | 0,4       | 0,4       |
|                          | 0,3–0,5   | 0,3–0,5   |
|                          | 0,3–1,2   | 0,3–1,2   |
|                          | 0,3–1,3   | 0,3–1,3   |

Представление количественных данных как в табл. 1. \* – достоверность различий при сравнении с измерениями на другом ультразвуковом приборе при  $P < 0,0001$ .

Обращает на себя внимание достоверная разница средних значений модуля Юнга, полученных на разных приборах ( $P < 0,0001$ ) при практически одинаковых цифрах стандартных отклонений. Из этого можно сделать вывод, что измерения, сделанные на разных приборах, характеризуются достаточной однородностью. Однако полученные цифровые показатели среднего значения модуля Юнга значимо выше при использовании аппарата Aplio 500.

В предыдущей работе было показано отсутствие достоверных корреляций между значениями модуля Юнга (Aixplorer), с одной стороны, и значениями объема яичка, индекса резистентности во внутрияичковых артериях и возраста пациентов – с другой [15]. У обследованных пациентов ( $n = 40$ ) прослеживалась та же тенденция. Значимые корреляции не были выявлены ни для  $E_{ave}$ , ни для  $E_{mean}$ . Рассматривались корреляции со значениями объема яичка, возраста пациентов, индекса резистентности и пульсационного индекса во внутрияичковых артериях. То есть данные, полученные на обоих приборах, демонстрируют сопоставимые результаты.

Нормативные значения, полученные в группе из 125 пациентов (250 яичек) на аппарате Aixplorer (95% -й интервал значений (2,5–97,5-й процентиля) для  $E_{mean}$  – 1,8–4,4 кПа, для средних значений скорости сдвиговой волны – 0,77–1,21 м/с) [15], практически полностью соответствуют результатам данной работы (1,8–3,9 кПа). Это позволяет нам говорить о том, что нормативные значения, полученные на аппарате Aplio 500 (2,8–9,4 кПа или 0,96–1,77 м/с), характеризуются более высокими цифровыми значениями, что необходимо учитывать в диагностическом процессе, который включает и динамический контроль различных патологических состояний органов мошонки.

Значения модуля Юнга являются аппаратзависимыми, что было однозначно продемонстрировано при эластографических исследованиях печени [1]. При оценке жесткости яичек при точечной эластографии сдвиговой волной (ARFI-эластография,

Acuson S2000 и Acuson S3000, Siemens, Германия) М. D'Anastasi et al. [11] отметили, что 95% значений скорости сдвиговой волны лежат в диапазоне 0,62–1,01 м/с. Известно, что модуль Юнга ( $E$ , кПа) и скорость сдвиговой волны ( $c_s$ , м/с) связаны между собой формулой (значение плотности учтено при переводе Па в кПа):

$$E \approx 3c_s^2 [15].$$

То есть нормативный диапазон, по данным М. D'Anastasi et al. [11], – 1,2–3,1 кПа, что ниже представленных нами. Однако для достоверного анализа было бы интересно посмотреть на результаты сопоставления измерений на аппарате Acuson S2000 (Acuson S3000) и других приборах, полученные у одного контингента больных, что было сделано в данной работе с аппаратами Aixplorer и Aplio 500. По данным М. Trottmann et al. [16], результаты сопоставления показателей жесткости, полученных на аппаратах Acuson S2000 и Aixplorer у одного контингента больных, показали, что значения скорости сдвиговой волны достоверно выше при измерениях на сканере Aixplorer ( $P < 0,05$ ). Однако авторы представляют в работе только средние значения искомого параметра [16], что не позволяет включать их в сравнительный анализ. Интересно, что результаты точечной эластографии сдвиговой волной достоверно ниже ( $P < 0,05$ ) результатов двумерной эластографии сдвиговой волной даже на одном приборе (Acuson S2000 и Acuson S3000) [17].

Нормативные значения модуля Юнга и скорости сдвиговой волны в паренхиме яичек, по данным различных авторов, полученные на приборах различных производителей, приведены в табл. 3.

Высокая воспроизводимость метода позволяет говорить о возможности практического применения двумерной эластографии сдвиговой волной в практической деятельности врача ультразвуковой диагностики при исследовании яичек с учетом достоверных различий значений модуля Юнга в зависимости от производителя ультразвуковой аппаратуры.

Таблица 3. Нормативные значения модуля Юнга и скорости сдвиговой волны в паренхиме яичек

| Авторы, год                      | Ультразвуковой аппарат                          | Методика                                                   | Количество обследованных яичек                                              | Возраст пациентов, годы | Модуль Юнга, кПа          | Скорость сдвиговой волны, м/с  | Представление эластографических данных                 |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Z. Sun et al., 2015 [9]          | Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция)         | Двумерная эластография сдвиговой волной                    | 15 неизмененных яичек у пациентов с перекручиванием контрлатерального яичка | 8,67 ± 2,64 (M ± σ)     | 3,97 ± 0,95               | 1,15 ± 0,56                    | M ± σ                                                  |
| B.B. Митьков и соавт., 2016 [15] | Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция)         | Двумерная эластография сдвиговой волной                    | 250                                                                         | 18–85 (Min–Max)         | 2,8<br>2,4–3,4<br>1,8–4,4 | 0,96<br>0,89–1,06<br>0,77–1,21 | Медиана<br>25–75-й процентиля<br>2,5–97,5-й процентиля |
| L. Rocher et al., 2017 [7]       | Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция)         | Двумерная эластография сдвиговой волной                    | 124                                                                         | 37,9 ± 14,5 (M ± σ)     | 2,4<br>2,0–2,9            | 0,89<br>0,82–0,98              | Медиана<br>25–75-й процентиля                          |
| M. D'Anastasi et al., 2011 [11]  | Acuson S2000 и Acuson S3000 (Siemens, Германия) | Точечная эластография сдвиговой волной (ARFI-эластография) | 46                                                                          | 23–75 (Min–Max)         | 1,2–3,1                   | 0,62–1,01                      | 2,5–97,5-й процентиля                                  |
| J. Marcon et al., 2016 [17]      | Acuson S2000 и Acuson S3000 (Siemens, Германия) | Точечная эластография сдвиговой волной (ARFI-эластография) | 40                                                                          | 27–81 (Min–Max)         | 2,0<br>1,1–7,1            | 0,81<br>0,60–1,54              | M<br>Min–Max                                           |
| J. Marcon et al., 2016 [17]      | Acuson S2000 и Acuson S3000 (Siemens, Германия) | Двумерная эластография сдвиговой волной                    | 40                                                                          | 27–81 (Min–Max)         | 3,4<br>1,9–9,2            | 1,07<br>0,79–1,75              | M<br>Min–Max                                           |
| Настоящее исследование           | Aprio 500 (Toshiba, Япония)                     | Двумерная эластография сдвиговой волной                    | 40                                                                          | 31–85 (Min–Max)         | 3,8<br>2,8–9,4            | 1,13<br>0,96–1,77              | Медиана<br>2,5–97,5-й процентиля                       |

Примечание: количественные данные представлены в виде медианы (первая строка ячейки), 2,5–97,5-го процентиля (вторая строка ячейки).

## ВЫВОДЫ

1) Двумерная эластография сдвиговой волной демонстрирует высокую внутриоператорскую воспроизводимость измерений модуля Юнга при исследовании яичек. Коэффициент внутригрупповой корреляции – 0,95 (0,90–0,97) и 0,92 (0,85–0,97).

2) Двумерная эластография сдвиговой волной демонстрирует высокую межоператорскую воспроизводимость измерений модуля Юнга при исследовании яичек. Коэффициент внутригрупповой корреляции – 0,91 (0,82–0,95).

3) 95% -й интервал значений модуля Юнга в паренхиме яичек ( $n = 40$ ) на аппарате Aplio 500 2,8–9,4 кПа, скорости сдвиговой волны – 0,96–1,77 м/с; на аппарате Aixplorer – 1,8–3,9 кПа и 0,77–1,14 м/с соответственно.

4) При сравнении значений модуля Юнга, полученных на разных приборах у одного контингента больных, определены достоверные различия ( $P < 0,0001$ ).

5) Значения модуля Юнга, полученные на разных приборах у одного контингента больных, не коррелируют со значениями объема яичка, возраста пациентов, индекса резистентности и пульсационного индекса во внутрияичковых артериях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferraioli G., Filice C., Castera L. et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography. Part 3: liver // *Ultrasound Med. Biol.* 2015. V. 41. No. 5. P. 1161–1179.
2. Barr R.G., Nakashima K., Amy D. et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography. Part 2: breast // *Ultrasound Med. Biol.* 2015. V. 41. No. 5. P. 1148–1160.
3. Cosgrove D., Barr R., Bojunga J. et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography. Part 4: thyroid // *Ultrasound Med. Biol.* 2017. V. 43. No. 1. P. 4–26. Epub 2016.
4. Barr R.G., Cosgrove D., Brock M. et al. WFUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 5: prostate // *Ultrasound Med. Biol.* 2017. V. 43. No. 1. P. 27–48. Epub 2016.
5. Hirooka Y., Kuwahara T., Irisawa A. et al. JSUM ultrasound elastography practice guidelines: pancreas // *J. Med. Ultrason* (2001). 2015. V. 42. No. 2. P. 151–174.
6. Trottman M., Marcon J., D'Anastasi M. et al. The role of VTIQ as a new tissue strain analytics measurement technique in testicular lesions // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2014. V. 58. No. 1. P. 195–209.
7. Rocher L., Criton A., Gennisson J.L. et al. Testicular shear wave elastography in normal and infertile men: a prospective study on 601 patients // *Ultrasound Med. Biol.* 2017. PII: S0301–5629(16)30413-6. Doi: 10.1016/j.ultras-medbio.2016.11.016. Epub ahead of print.
8. Гогаева И.М., Казачок И.В., Митькова М.Д., Митьков В.В. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной при микролитиазе яичек // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2016. № 3. С. 42–48.
9. Sun Z., Xie M., Xiang F. et al. Utility of real-time shear wave elastography in the assessment of testicular torsion // *PLoS One.* 2015. V. 10. No. 9. P. e0138523. Doi: 10.1371/journal.pone.0138523.
10. Митьков В.В., Иванишина Т.В., Гогаева И.М., Митькова М.Д., Брюховецкий Ю.А., Заболотская Н.В., Рудько Г.Г. Воспроизводимость эластографии сдвиговой волной при исследовании поверхностно расположенных органов (щитовидная железа) // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2015. № 6. С. 27–35.
11. D'Anastasi M., Schneevoigt B.S., Trottman M. et al. Acoustic radiation force impulse imaging of the testes: a preliminary experience // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2011. V. 49. No. 1–4. P. 105–114.
12. Spyropoulos E., Borousas D., Mavrikos S. et al. Size of external genital organs and somatometric parameters among physically normal men younger than 40 years old // *Urology.* 2002. V. 60. No. 3. P. 485–489.
13. Митьков В.В. Допплерография в диагностике заболеваний печени, желчного пузыря, поджелудочной железы и их сосудов. М.: Видар, 2000. 146 с.
14. Shrout P.E., Fleiss J.L. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability // *Psychol. Bul.* 1979. V. 86. No. 2. P. 420–428.
15. Митьков В.В., Гогаева И.М., Митькова М.Д. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной при исследовании неизмененных яичек // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2016. № 3. С. 34–41.
16. Trottman M., Rubenthaler J., Marcon J. et al. Differences of standard values of Supersonic shear imaging and ARFI technique – in-vivo study of testicular tissue // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2016. Doi: 10.3233/CH-168039. Epub ahead of print.
17. Marcon J., Trottman M., Rubenthaler J. et al. Shear wave elastography of the testes in a healthy study collective – differences in standard values between ARFI and VTIQ techniques // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2016. Doi: 10.3233/CH-168052. Epub ahead of print.

## Reproducibility of Shear Wave Elastography in Testicular Stiffness Assessment

I.M. Gogaeva<sup>1</sup>, D.R. Ramonova<sup>2</sup>, M.D. Mitkova<sup>1</sup>,  
Yu.A. Bryukhovetskiy<sup>1</sup>, Yu.N. Chereshneva<sup>1</sup>, V.V. Mitkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow

<sup>2</sup> Scientific Clinical Center of Russian Railways, Moscow

*I.M. Gogaeva – M.D., Ph.D. fellow, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow. D.R. Ramonova – M.D., Ultrasound Diagnostics Department, Scientific Clinical Center of Russian Railways, Moscow. M.D. Mitkova – M.D., Ph.D., Associate Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow. Yu.A. Bryukhovetskiy – M.D., Ph.D., Associate Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow. Yu.N. Chereshneva – M.D., Ph.D., Assistant Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow. V.V. Mitkov – M.D., Ph.D., Professor, Director, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow.*

*20 patients (40 testes) aged from 31 up to 85 years old were examined. Inclusion criteria were as follows: presence of both testes; volume of testes more than 10 ml; absence of trauma, torsion, tumours, and infertility; normal B-mode ultrasound image of the testes. Intra- and interobserver reproducibility of the shear wave elastography was assessed. Young's modulus (kPa) was measured by using two ultrasound systems – Aixplorer (Supersonic Imagine, France) and Aplio 500 (Toshiba, Japan). Two dimensional shear wave elastography demonstrated high intraobserver reproducibility of the Young's modulus measured in examination of testes. Intraclass correlation coefficient was 0.95 (0.90–0.97) and 0.92 (0.85–0.97). Two dimensional shear wave elastography showed high interobserver reproducibility of the Young's modulus measured in examination of testes. Intraclass correlation coefficient was 0.91 (0.82–0.95). Using Aplio 500 scanner 2.5–97.5th percentiles of the Young's modulus in testes parenchyma (n = 40) were 2.8–9.4 kPa, shear wave velocity – 0.96–1.77 m/s; using the Aixplorer scanner – 1.8–3.9 kPa and 0.77–1.14 m/s, respectively. Young's modulus received by using different ultrasound scanners in patients of the same group showed significant differences (P < 0.0001). Young's modulus values did not correlate with testicular volume, age of patients, resistive index and pulsatility index in testicular arteries.*

**Key words:** ultrasound shear wave elastography, Young's modulus, intra- and interobserver reproducibility, intraclass correlation coefficient, testis.