

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2023.1.9>

Возмущающие факторы при ультразвуковой эластографии печени. Часть 1. Общие положения и методические ошибки

С.И. Пиманов¹, В.С. Капорцева¹, Н.А. Михайлова², Е.В. Вергасова²

¹Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, г. Витебск, Республика Беларусь

²ООО «ЛОДЭ», г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2023. – Том 22, №1. – С. 9-18.

Confounding factors in ultrasound liver elastography. Part 1. General provisions and methodological errors

S.I. Pimanov¹, V.S. Kaportseva¹, N.A. Mikhailova², E.V. Vergasova²

¹Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus

²LLC «LODE», Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2023;22(1):9-18.

Резюме.

Цель исследования – систематизированный анализ литературных данных о влиянии на результаты ультразвуковой эластографии печени методических факторов, артефактов, а также внешних воздействий и особенностей состояния организма обследуемых. Двумерная эластография сдвиговой волной является высокоточным методом оценки степени фиброза печени при условии строго соблюдения методики исследования, однако следует учитывать влияние возмущающих факторов измерений. Возмущающие факторы приводят к ошибочному изменению жесткости печени от незначительного, в пределах 5-10%, до многократного, катастрофически искажающего оценку степени фиброза печени. Возмущающие факторы включают три основные группы: 1) методически обусловленные, а также физические артефакты и особенности оборудования; 2) внутренние (эндогенные) и 3) внешние (экзогенные). К первой группе возмущающих факторов относятся: несоблюдение оператором стандартных правил манипуляций с датчиком, позиционные особенности пациента, недостаточный размер площади окна зоны интереса, неправильное расположение зоны интереса, отсутствие адекватной задержки дыхания пациентом или осуществление им движений, недостаточное количество измерений, большой разброс регистрируемых значений, передаточные пульсации от сердца и крупных сосудов, особенности используемой аппаратуры, физическая сущность метода эластографии и артефакты.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, эластография сдвиговой волной, фиброз печени, жесткость, модуль Юнга, печень.

Abstract.

The aim of the study is a systematic analysis of literature data on the effect of methodological factors, artifacts, as well as external influences and features of the state of the organism on the results of ultrasonic elastography of the liver. Two-dimensional shear wave elastography is a highly accurate method for assessing the degree of liver fibrosis, provided that the study methodology is strictly followed, however, the influence of measurement disturbances should be taken into account. Confounding factors lead to an erroneous change in the liver stiffness from insignificant, within 5-10%, to considerable, catastrophically distorting the assessment of the degree of liver fibrosis. Confounding factors include three main groups: 1) methodologically determined, as well as physical artifacts and equipment features; 2) internal (endogenous) and 3) external (exogenous). The first group of confounding factors includes: non-observance by the operator of the standard rules for manipulating the probe, positional features of the patient, insufficient size of the window area of the area of interest, incorrect location of the area of interest, lack of adequate breath holding by the patient or the performing of his/her movements, insufficient number of measurements, large spread of recorded values, transmission pulsations from the

heart and large vessels, features of the equipment used, physical essence of the elastographic method and artifacts.
 Keywords: *ultrasound, shear wave elastography, liver fibrosis, stiffness, Young's modulus, liver.*

Введение

Ультразвуковая (УЗ) эластография печени является востребованным методом диагностики в современной клинической гепатологии [1, 2]. Нередко выбор лечения, особенно при вирусных гепатитах, определяется степенью фиброза печени, который в настоящее время обычно определяется эластографически. Для диагностики стадийности и оценки прогрессирования фиброза при диффузных заболеваниях печени эластография привлекает внимание клиницистов благодаря безвредности, неинвазивности и высокой информативности этого метода исследования.

Эластография печени основана на оценке скорости распространения индуцируемых УЗ датчиком поперечных волн. Исходя из известной скорости поперечной волны возможно вычисление модуля упругости Юнга исследуемой ткани, который характеризует ее жесткость [3]. Хотя с физической точки зрения более правильно для характеристики ткани оценивать скорость распространения волны (м/сек), в клинической практике удобнее интерпретировать результаты, представленные в килопаскалях (кПа).

Начало широкого применения УЗ метода эластографии печени в клинической практике было положено транзиентным вариантом, который фактически является классическим и референтным. Транзиентная эластография печени осуществляется специализированным аппаратом, что ограничивает широкое использование метода. В последние годы интенсивно развивается двумерная эластография сдвиговой волной (2D shear wave elastography – 2D-SWE), причем этой опцией оснащаются обычные УЗ диагностические аппараты высокого класса. Во всем мире активно изучаются эластометрические показатели при диффузной и очаговой патологии различных органов [4].

Была доказана высокая валидность определения степени фиброза печени УЗ эластографическим методом в сравнении с «золотым стандартом», т.е. пункционной биопсией. В частности, несколько метаанализов и ряд недавно опубликованных сравнительных исследований убедительно продемонстрировали тесную корреляцию

эластометрических показателей со степенью фиброза печени по гистологической шкале Metavir, которая предполагает выделение нулевой степени (отсутствие) и 4 градаций фиброза (F0, F1, F2, F3, F4). Чувствительность и специфичность УЗ определения степени фиброза в этих исследованиях оказались весьма высокими и составили около 80-90% и выше [2]. Абсолютного совпадения гистологического и эластографического результата достичь невозможно, хотя бы по той причине, что воспроизводимость патоморфологических заключений биопсии печени достаточно низкая: критерий каппа составил 0,4-0,9 [5]. Кроме того, смертность после пункционной биопсии печени достигает 0,14% [6, 7]. В последние годы установлено, что по диагностическим характеристикам определения степени фиброза печени двумерная эластография сдвиговой волной превосходит транзиентную эластографию [7, 8]. В то же время следует учитывать, что биопсия печени отражает состояние только 1/50 000 объема печени [9], хотя даже при диффузной патологии органа, например при циррозе, поражение является неравномерным. Метод двумерной эластографии печени сдвиговой волной позволяет оценить жесткость относительно большого объема печеночной ткани – около 20 см³ [2, 7]. Следовательно, имеются предпосылки для весьма объективной неинвазивной оценки степени фиброза.

Обязательным условием успешного выполнения УЗ двумерной эластографии печени сдвиговой волной является строгое соблюдение методических правил, которые определены рядом рекомендаций: Европейской федерации ассоциаций по ультразвуку в медицине и биологии (European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology – EFSUMB) [9, 10], Обществом Радиологов в Ультразвуковой диагностике (Society of Radiologists in Ultrasound – SRU) в США [5, 11], Всемирной федерацией ультразвуковой диагностики в медицине и биологии (World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology – WFUMB) [12, 13]. Большинство положений эластографии основано на доказательных принципах, однако ряд позиций требуют уточнений и по ним проводятся многочисленные исследования.

Несоблюдение методических правил приводит к ошибкам измерения. Также имеет значение, какой вариант эластографического метода используется. Установлено, что результаты транзитной эластометрии степени фиброза печени отличаются от таковых, полученных методом сдвиговой волны [6, 7]. Даже при использовании формально одной и той же методики УЗ двумерной эластометрии печени сдвиговой волной значения модуля упругости ткани органа отличаются при работе на аппаратах разных производителей [9, 13, 15]. Показатели эластографических измерений могут варьировать у одного и того же пациента в короткий промежуток времени из-за внешних факторов и изменения состояния обследуемого, например при дыхании [16].

На сегодняшний день накопился значительный объем информации по влиянию различных воздействий, которые искажают результаты измерений двумерной эластометрии печени сдвиговой волной [5, 7, 11, 13, 18-23], однако детальный систематизированный анализ таких литературных данных отсутствует.

Цель работы – систематизированный анализ литературных данных о влиянии на результаты ультразвуковой эластографии печени особенностей методики, артефактов, а также внешних воздействий и особенностей состояния организма обследуемых. Основное внимание уделено двумерной эластографии сдвиговой волной, однако все общие положения универсальны для различных методов количественной эластографической техники.

Осуществлялся анализ литературных источников в базе данных PubMed.gov с 2010 г. по 2021 г. с использованием ключевых слов «ultrasound elastography AND liver», а также аналогичный поиск по соответствующим русскоязычным терминам в различных базах данных, включая eLibrary.ru, периодическую литературу и другие публикации.

Терминология и разнообразие возмущающих факторов ультразвуковой эластографии печени

Что касается терминологии, в англоязычной литературе факторы, которые искажают результаты УЗ эластометрии, обозначаются словом «confounding» (возмущающий) [11-15, 20-23]. В русскоязычной литературе, которая на сегодняшний день представлена по обсуждаемой теме

единственной обширной статьей, используется несколько другая формулировка: «факторы, которые оказывают влияние на результаты ультразвуковой эластометрии» или «факторы, искажающие результаты эластометрии» [2]. В представленной вниманию читателю статье используется как этот, принятый в русскоязычной литературе, так и более короткий термин – «возмущающие факторы».

Анализ возмущающих факторов в эластометрии показал их разноплановый характер. Учитывая, что двумерная эластография сдвиговой волной является в настоящее время наиболее перспективной, основное внимание возмущающих факторов будет касаться этого метода. В то же время многие возмущающие факторы, связанные с особенностями состояния организма и внешними воздействиями, носят универсальный характер, независимо от используемого метода эластографии. Любые причины, приводящие к повышению субкапсулярного давления (изменение кровенаполнения, билиарная гипертензия, внешняя компрессия) и смещению печени (дыхание, передаточные пульсации, эпизодическое напряжение или подергивания мышц живота и диафрагмы), являются возмущающими факторами, изменяющими модуль Юнга и, в конечном итоге, искажающими истинное значение степени фиброза.

С учетом имеющихся на сегодняшний день исследований нами предлагается классификация возмущающих факторов.

Классификация возмущающих факторов ультразвуковой эластографии печени

I. Методически обусловленные возмущающие факторы, а также физические артефакты и особенности оборудования:

1. Несоблюдение оператором стандартных правил манипуляций с датчиком.
2. Позиционные особенности пациента.
3. Отсутствие адекватной задержки дыхания пациентом или осуществление им движений.
4. Недостаточный размер площади окна зоны интереса, неправильное расположение зоны интереса.
5. Недостаточное количество измерений, большой разброс регистрируемых значений.
6. Физическая сущность метода эластометрии, артефакты.
7. Передаточные пульсации от сердца и крупных сосудов.
8. Особенности используемой аппаратуры.

9. Прочие.

II. Внутренние (эндогенные) возмущающие факторы:

1. Воспаление и другая (кроме фиброза) патология печени (амилоидоз, гемохроматоз, острый гепатит, в том числе токсический, лимфома, очаговые изменения, большие опухоли печени, веноокклюзионная болезнь печени, или синдром синусоидальной обструкции), портальная гипертензия.

2. Степень гидратации, недостаточность кровообращения, почечная недостаточность.

3. Ожирение.

4. Асцит.

5. Беременность.

6. Билиарная гипертензия (механический холестаза).

7. Артериальная гипертензия.

8. Прочие (физическая нагрузка, дислипидемия, пол, возраст, неравномерность поражения печени; ее неровная поверхность, абдоминальный компартмент-синдром и другие факторы).

III. Внешние (экзогенные) возмущающие факторы:

1. Прием пищи.

2. Алкоголь.

3. Курение.

4. Фармакологические препараты.

5. Прочие.

Приведенная классификация не является идеальной, т.к. ряд факторов в определенной степени условно можно отнести только к одной из групп, однако позволяет наглядно продемонстрировать разнообразие и многочисленность причин, которые оказывают влияние на результаты УЗ эластометрии.

Методически обусловленные возмущающие факторы, а также физические артефакты

Строгое соблюдение методики УЗ эластометрии сводит к минимуму возникновение физических артефактов и ошибок измерения. Правила проведения эластографического ультразвукового исследования (УЗИ) печени детально оговариваются в международных рекомендациях и консенсусах (табл.). Имеются некоторые расхождения в методических деталях разных согласительных документов и мнений экспертов. В частности, это касается глубины расположения зоны интереса,

необходимого количества измерений, времени проведения процедуры после еды и проч.

Оператор должен иметь опыт работы обычного УЗ исследования (УЗИ) и пройти тренинг по эластометрии с практическим осмотром пациентов, не менее 50 измерений должны быть осуществлены самостоятельно под наблюдением специалиста [10, 12].

Пациенту перед исследованием следует полежать не менее 10-20 минут [10, 20], что необходимо для стабилизации гемодинамики.

Положение обследуемого должно быть лежа на спине, расслабленное, правая рука запрокинута, что увеличивает межреберные промежутки. Если пациент лежит на левом боку модуль Юнга повышается [20], причем по нашим данным это увеличение составляет около 1 кПа. В положении стоя модуль Юнга также возрастает [23].

Датчик следует располагать по ходу межреберий над правой долей печени. По обновленным рекомендациям EFSUMB при эластографии сдвиговой волной возможно некоторое давление на датчик, что, по мнению экспертов, помогает раздвинуть межреберные промежутки [10]. Японские специалисты указывают на возможность в таких случаях появления вызванного датчиком артефакта давления, приводящего к ложному повышению модуля Юнга [17]. Общее правило в эластографии сдвиговой волной гласит, что давление на датчик должно быть минимальным, при котором обеспечивается требуемое изображение. Датчик должен располагаться перпендикулярно относительно поверхности кожи пациента. Эластометрическое исследование левой доли обычно не проводится из-за передаточных движений от сердца и аорты.

Пациента следует проинструктировать, что по команде он должен на несколько секунд задержать дыхание без напряжения, без предварительного глубокого вдоха или нескольких вдохов. Таким образом, при обычном дыхании после слов врача «замереть, не дышать, не двигаться» пациенту не осуществлять каких-либо движений и шевелений, при этом не напрягаться, находиться в расслабленном состоянии. Рекомендуется задерживать дыхание в «нейтральной фазе» дыхания, т.е. в конце спокойного выдоха. Измерения при глубоком вдохе приводят к ошибочному завышению модуля Юнга примерно на 13% [7, 24], причем в меньшей степени у здоровых, а в большей – при хронических заболеваниях печени [16]. Еще большее значение этот показатель

Таблица – Основные правила проведения ультразвуковой двумерной эластографии печени сдвиговой волной

№ п/п	Методическое правило (основное)	Источник	Предлагаемые варианты	Источник
1.	Исследование должно проводиться натощак	[10, 12]	Через 4-6 часов после еды Не менее, чем через 2 часа после еды, в идеале – натощак Через 6 часов после еды	[5] [10] [13]
2.	Пациенту перед исследованием следует полежать не менее 10 мин	[10]	До начала эластографии пациент должен полежать 20 мин	[20]
3.	Положение обследуемого: лежа на спине, правая рука запрокинута	[9, 12]	Допускается положение на левом боку при неполном повороте на 30° Допускается небольшой поворот на левый бок	[5] [13]
4.	Датчик следует располагать продольно в межреберном промежутке над правой долей печени, перпендикулярно к капсуле печени	[5, 13]	Датчик нельзя смещать в процессе измерений	[5-14]
5.	Давление на датчик должно быть минимальное	[17]	Для увеличения межреберных промежутков возможно умеренное давление на датчик	[10]
6.	Исследуемая область печени – чаще VI–VII сегменты].	[5]	Допустимая исследуемая область печени – VI–VIII сегменты Оптимальная для исследований область печени – V сегмент	[24]
7.	Диаметр зоны интереса должен быть не менее 10 мм, лучше 15 мм и более	[10]	Существенных различий результатов исследований при диаметре зоны интереса 10 мм и 20 мм нет	[24]
8.	Ограничение расположения зоны интереса по <i>минимальной</i> глубине: место измерения должно находиться ниже капсулы печени на 1,5–2,0 см	[13]	Относительно капсулы печени зона интереса должна находиться ниже, как минимум, на 1 см Зона интереса должна находиться минимум на 2 см ниже капсулы печени	[10] [5]
9.	Ограничение расположения зоны интереса по <i>максимальной</i> глубине: место измерения должно находиться не более чем в 4–6 см от поверхности датчика	[5]	Оптимальное место измерения – в 4,0–4,5 см от поверхности датчика (в основном для точечной эластографии) Зона интереса должна находиться не глубже 6 см от капсулы печени В идеальном варианте место измерения должно находиться не глубже 5 см от капсулы печени Оптимальная глубина измерения от поверхности датчика равна 4-5 см, нельзя превышать 6-7 см	[13] [10] [24] [20]
10.	Перед измерением пациент должен на несколько секунд задержать дыхание в нейтральной позиции, без глубокого вдоха или выдоха	[10]	Не следует предварительно перед задержкой дыхания делать глубокие вдохи. Лучше проводить измерения в одной и той же фазе дыхания	[2]
11.	Количество измерений должно быть от 3 до 15, итоговый результат должен быть представлен медианой с межквартильным интервалом Оптимально проведение 10 измерений и представление результата в виде медианы	[10] [7]	Достаточно 5 измерений, если оценка качества удовлетворяется, если она отсутствует, требуется: – 10 измерений; – достаточно 4 измерений, результат следует представлять в виде среднего значения; – требуется 3-5 измерений при условии оценки качества	[11] [11] [12] [13]

имеет на глубоком выдохе [25]. Впрочем, имеются данные некоторых авторов об отсутствии существенного влияния дыхания на эластометрические результаты, с чем трудно согласиться. По нашему опыту, оператору также лучше самому задержать дыхание, чтобы адекватно регулировать длительность произвольного апноэ пациента. По движению изображения печени на экране аппарата врач может контролировать соблюдение пациентом инструкции «не дышать». Лучше проводить измерения в одной и той же фазе дыхания. Для формирования двумерной эластограммы УЗ аппарату требуется стабилизационное время длительностью 3–5 секунд. После команды о задержке дыхания и стабилизации врачу следует немедленно на клавиатуре УЗ аппарата нажать клавишу инициации генерации сдвиговой волны, при этом вторая рука должна неподвижно держать датчик. Аппарат может учитывать период стабилизации перед генерацией поперечной волны. Навык оператора сохранения неподвижного состояния датчика является весьма важным.

Перед эластометрией необходимо получить хорошую визуализацию печени при серошкальном УЗИ [26]. Зону интереса (англ., region of interest – ROI), или окно опроса, следует располагать в месте однородной изоэхогенной печеночной паренхимы вне крупных сосудов, связок, протоков, очагов и желчного пузыря [5, 10]. Обычно используются измерения в V, VII и VIII сегментах печени [5]. Китайские специалисты показали, что оптимальная для эластографии область печени – V сегмент, хотя возможно также исследование в VI–VIII сегментах [25]. Следует учитывать, что их идентификация при эластометрии весьма ориентировочная, т.к. при использовании доступе V–VIII сегменты визуализируются как сплошной континуум. Окраска цветового эластографического окна (elasticity sampling region – область выборки эластичности) должна быть гомогенной, это является показателем адекватного выполнения методики [9, 10]. В аппаратах различных фирм могут быть различия в визуальной оценке валидности изображения (гомогенность цвета, линии и проч.). Цветовое эластографическое окно должно располагаться по центру изображения. Зону интереса следует размещать в равномерно окрашенной части цветового эластографического окна по его средней линии. Следует исключить размещение зоны интереса в области артефактов из-за реверберации, акустической тени и других причин.

Глубина расположения зоны интереса несколько отличается в разных рекомендациях (табл.). Постулируемое оптимальное место измерения в 4,0–4,5 см от поверхности датчика [13] касается в большей степени точечной, а не двумерной эластографии сдвиговой волной [7]. При наличии у пациента ожирения расположить зону интереса на 1,5–2,0 см ниже капсулы, но не глубже 4,0 см от поверхности датчика, обычно невозможно. Тем не менее, правила измерения следует соблюдать, причем для минимизации ошибки лучше придерживаться одинаковой глубины расположения зоны интереса при всех исследованиях. При расположении зоны интереса глубже 5 см от поверхности печени появляется ложное увеличение модуля Юнга, т.е. жесткости [24]. Глубокое расположение зоны интереса приводит к артефакту затухания поперечной волны [17]. По нашему опыту оптимальное значение локализации места измерения – ниже 1,5–2,0 см от поверхности капсулы и не глубже 4,5–5,5 см от поверхности датчика. Непосредственно в подкапсульной зоне возникают реверберационные артефакты, кроме того, гистологически фиброз там может быть выражен в большей степени, чем в других отделах печени, что также приведет к ложному повышению жесткости. Ширина подкапсульной зоны реверберации составляет, по нашим наблюдениям, от 0,5 до 2,0 см [2].

В консенсусе SRU 2015 г. указано, что фокус при УЗИ должен быть установлен в 4–5 см от поверхности датчика, там же лучшее место для измерения [5], однако в более поздних рекомендациях экспертов указано, что это требование с фокусировкой В-изображения не имеет значения для эластометрии [24].

В соответствии с рекомендациями EFSUMB (2017 г.) диаметр окна опроса зоны интереса должен быть не менее 10 мм, лучше 15 мм и более [10]. В то же время имеется исследование, в котором не выявили разницы результатов эластометрии при размерах окна опроса зоны интереса 10 мм и 20 мм [24].

Хотя в рекомендациях EFSUMB 2017 г. по двумерной эластографии сдвиговой волной разрешено ограничиться тремя измерениями, по мнению большинства исследователей и по нашему опыту предпочтительно осуществлять 10–12 измерений, что позволяет минимизировать межквартильный интервал и в конечном итоге повысить точность диагностики фиброза. В свою очередь, параметром качества измерений при двумерной

эластографии сдвиговой волной считается отношение межквартильного интервала к медиане, которое должно быть менее 30% при измерении модуля Юнга в кПа или менее 15% при определении скорости сдвиговой волны (м/сек) [5, 10, 11, 13, 14]. Этот критерий, который заимствован из транзиентной эластографии, удается соблюдать только в 71,3% случаев [27]. Большинство авторов считают, что показателем валидности серии измерений является коэффициент вариации (отношение стандартного отклонения к среднему значению) в пределах 10-20% [2]. Во 2-м издании учебной монографии EFSUMB по двумерной эластографии сдвиговой волной на основании проведенного испанскими авторами исследования указывается на возможность использования в качестве критерия надежности измерений отношения стандартного отклонения к величине среднего значения серии измерений модуля Юнга (в кПа), который должен быть менее 10% [25]. В обновленных рекомендациях WFUMB 2018 г. указано, что в большинстве аппаратов представляется средний результат измерений и стандартное отклонение. Там же рекомендуется использовать среднее значение измерений, однако отношение к стандартному отклонению измерений как к критерию качества высказано скептическое [13]. Вероятно, это связано с тем, что стандартное отклонение, как и межквартильный интервал, фактически отражают только один аспект критерия качества эластографии – отличие вариантов друг от друга в данной серии измерений. С нашей точки зрения, учитывая, что распределение величин измерений, как правило, не является нормальным (гауссовым), правильнее использовать в качестве среднего значения медиану и межквартильный интервал, однако среднее арифметическое значение также достаточно адекватно отражает величину модуля упругости (или скорости). Согласно статистическим правилам, среднее значение измерений следует сочетать с их среднеквадратичным отклонением. Обсуждаемые статистические характеристики в современных аппаратах выводятся на монитор в соответствии с предварительной настройкой.

Невозможность получения адекватного эластографического изображения и, соответственно, измерения встречается в 10% случаев. Наиболее частыми причинами неудачных эластографий являются: неадекватная глубина зоны интереса, неудовлетворительная визуализация из-за узких межреберных промежутков, реверберации, пере-

даточные пульсации сердца и крупных сосудов, неполное соблюдение пациентом правил по задержке дыхания, выраженный асцит, толщина стенки межреберья ≥ 25 мм, ИМТ ≥ 30 кг/м² и окружность талии ≥ 102 см [2, 10]. Ожирение является существенной проблемой, ограничивающей возможность проведения эластографии сдвиговой волной. По нашему мнению, среди методических возмущающих факторов наиболее частой причиной неудач процедуры эластографии является несоблюдение пациентом инструкции по полной задержке дыхания и прекращению движений [2, 18].

Установлено, что достаточно надежно можно различать отсутствие фиброза (F0) или легкий (F1) фиброз с его выраженной степенью (F3) или циррозом (F4), однако сложно дифференцировать смежные степени фиброза: F0 и F1, F1 и F2, F2 и F3, а также F3 и F4. Причина заключается в том, что, во-первых, имеются неизбежные наложения диапазонов эластографических значений жесткости (граничных точек cut-off) печени при близких степенях фиброза из-за физических особенностей метода исследования, во-вторых, спектр фиброза носит непрерывный, а не дискретный характер [7, 14].

При использовании УЗ аппаратов разных фирм-производителей результатов двумерной эластографии печени сдвиговой волной достигают 10-12% [7]. Имеет также значение, использовался конвексный или линейный датчик на одном и том же аппарате [23]. Еще большие отличия возможны при оценке измерений и граничных значений с транзиентной и точечной эластографией (динамической эластографией акустического давления). Тем не менее, основные закономерности возмущающих воздействий сохраняются при всех вариантах эластографии.

Воспроизводимость эластометрических измерений, как показывают многочисленные исследования, в том числе выполненные авторами данной статьи, достаточно высокая [2, 13, 24, 28, 29].

Заключение

Двумерная эластометрия сдвиговой волной является достаточно точным методом оценки степени фиброза печени при условии строго соблюдения методики исследования, однако следует учитывать влияние возмущающих факторов измерений. Возмущающие факторы приводят к ошибочному изменению жесткости печени от незначительного, в пределах 5-10%, до много-

кратного, катастрофически искажающего оценку степени фиброза печени, что предопределяет следующие ошибки клинического ведения пациентов.

Возмущающие факторы включают три основные группы: 1) методически обусловленные, а также физические артефакты и особенности оборудования; 2) внутренние (эндогенные) и 3) внешние (экзогенные). К первой группе возмущающих факторов относятся: несоблюдение оператором стандартных правил манипуляций с датчиком, позиционные особенности пациента, недостаточный размер площади окна зоны интереса, неправильное расположение зоны интереса, отсутствие адекватной задержки дыхания пациентом или осуществление им движений, недостаточное количество измерений, большой разброс регистрируемых значений, передаточные пульсации от сердца и крупных сосудов, особенности используемой аппаратуры, физическая сущность метода эластографии и артефакты.

Литература

- American Gastroenterological Association Institute Guideline on the Role of Elastography in the Evaluation of Liver Fibrosis / J. K. Lim [et al.] // *Gastroenterology*. 2017 May. Vol. 152, N 6. P. 1536–1543.
- Пиманов, С. И. Факторы, оказывающие влияние на результаты ультразвуковой эластометрии печени / С. И. Пиманов, М. Д. Митькова, В. В. Митьков // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2021. № 4. С. 9–29.
- Митьков, В. В. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной / В. В. Митьков, М. Д. Митькова // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2015. № 2. С. 94–108.
- Value of ultrasound shear wave elastography in the diagnosis of adenomyosis / S. Acar [et al.] // *Ultrasound*. 2016 Nov. Vol. 24, N 4. P. 205–213.
- Elastography assessment of liver fibrosis: Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference Statement / R. G. Barr [et al.] // *Radiology*. 2015 Sep. Vol. 276, N 3. P. 845–861.
- Myers, R. P. Utilization rates, complications and costs of percutaneous liver biopsy: a population-based study including 4275 biopsies / R. P. Myers, A. Fong, A. A. Shaheen // *Liver Int*. 2008 May. Vol. 28, N 5. P. 705–712.
- Barr, R. G. Shear wave liver elastography / R. G. Barr // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2018 Apr. Vol. 43, N 4. P. 800–807.
- Shear wave elastography may be sensitive and more precise than transient elastography in predicting significant fibrosis / T. T. Yao [et al.] // *World J. Clin. Cases*. 2020 Sep. Vol. 8, N 17. P. 3730–3742.
- EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications / D. Cosgrove [et al.] // *Ultraschall. Med*. 2013 Jun. Vol. 34, N 3. P. 238–253.
- EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version) / C. F. Dietrich [et al.] // *Ultraschall. Med*. 2017 Aug. Vol. 38, N 4. P. e16–e47.
- Update to the Society of Radiologists in Ultrasound Liver Elastography Consensus Statement / R. G. Barr [et al.] // *Radiology*. 2020 Aug. Vol. 296, N 2. P. 263–274.
- WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 3: liver / G. Ferraioli [et al.] // *Ultrasound Med. Biol*. 2015 May. Vol. 41, N 5. P. 1161–1179.
- Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations / G. Ferraioli [et al.] // *Ultrasound Med. Biol*. 2018 Dec. Vol. 44, N 12. P. 2419–2440.
- Ferraioli, G. Review of Liver Elastography Guidelines / G. Ferraioli // *J. Ultrasound Med*. 2019 Jan. Vol. 38, N 1. P. 9–14.
- Comparative study between two 2D-Shear Waves Elastography techniques for the non-invasive assessment of liver fibrosis in patients with chronic hepatitis C virus (HCV) infection / V. Báldea [et al.] // *Med. Ultrason*. 2021 Aug. Vol. 23, N 3. P. 257–264.
- Prospective comparison of 2D-shearwave elastography in both liver lobes in healthy subjects and in patients with chronic liver disease / G. Petzold [et al.] // *Scand. J. Gastroenterol*. 2019 Sep. Vol. 54, N 9. P. 1138–1145.
- Diagnostic problems in two-dimensional shear wave elastography of the liver / H. Naganuma [et al.] // *World J. Radiol*. 2020 May. Vol. 12, N 5. P. 76–86.
- Artifacts and Technical Restrictions in 2D Shear Wave Elastography / P. Bouchet [et al.] // *Ultraschall. Med*. 2020 Jun. Vol. 41, N 3. P. 267–277.
- Elastography in Chronic Liver Disease: Modalities, Techniques, Limitations, and Future Directions / A. Srinivasa Babu [et al.] // *Radiographics*. 2016 Nov-Dec. Vol. 36, N 7. P. 1987–2006.
- Zelesco, M. Pitfalls and sources of variability in two dimensional shear wave elastography of the liver: An overview / M. Zelesco, S. Abbott, S. O'Hara // *Sonography*. 2018 Mar. Vol. 5, N 1. P. 20–28.
- Propagation Imaging in the Demonstration of Common Shear Wave Artifacts / T. J. Dubinsky [et al.] // *J. Ultrasound Med*. 2019 Jun. Vol. 38, N 6. P. 1611–1616.
- What we need to know when performing and interpreting US elastography / S. H. Park [et al.] // *Clin. Mol. Hepatol*. 2016 Sep. Vol. 22, N 3. P. 406–414.
- Impact of food intake, ultrasound transducer, breathing maneuvers and body position on acoustic radiation force impulse (ARFI) elastometry of the liver / R. S. Goertz [et al.] // *Ultraschall Med*. 2012 Aug. Vol. 33, N 4. P. 380–385.
- Shear wave elastography of the liver - review on normal values / Y. Dong [et al.] // *Z. Gastroenterol*. 2017 Feb. Vol. 55, N 2. P. 153–166.
- Assessment of impact factors on shear wave based liver stiffness measurement / W. Ling [et al.] // *Eur. J. Radiol*. 2013 Feb. Vol. 82, N 2. P. 335–341.
- Пиманов, С. И. Ультразвуковая диагностика в гастроэнтерологии / С. И. Пиманов. Москва : *Практ. медицина*, 2016. 416 с.
- Liver elastography EFSUMB Course Book [Electronic resource] / ed. C. F. Dietrich ; I. Sporea [et al.]. 2nd ed. Mode of access: <https://efsumb.org/wp-content/uploads/2020/12/>

ECBCh03_liver_Elastography_FREE.pdf. Date of access: 24.01.2023.

28. Пиманов, С. И. Воспроизводимость результатов ультразвуковой эластографии сдвиговой волной / С. И. Пиманов, О. Ю. Сычев, О. И. Данилова // Лучевая диагностика

и терапия. 2019. № S1. С. 151–152.

29. Вариабельность результатов ультразвуковой эластографии печени сдвиговой волной при многократных измерениях / О. Ю. Сычев [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2019. № 3, прил. С. S86.

Поступила 20.12.2022 г.

Принята в печать 23.02.2023 г.

References

- Lim JK, Flamm SL, Singh S, Falck-Ytter YT. American Gastroenterological Association Institute Guideline on the Role of Elastography in the Evaluation of Liver Fibrosis. *Gastroenterology*. 2017 May;152(6):1536-43. doi: 10.1053/j.gastro.2017.03.017
- Pimanov SI, Mitkova MD, Mitkov VV. Factors influencing the results of ultrasound elastometry of the liver. *Ul'trazvukovaja Funkcion Diagnostika*. 2021;(4):9-29. (In Russ.)
- Mitkov VV, Mitkova MD. Ultrasonic shear wave elastography. *Ul'trazvukovaja Funkcion Diagnostika*. 2015;(2):94-108. (In Russ.)
- Acar S, Millar E, Mitkova M, Mitkov V. Value of ultrasound shear wave elastography in the diagnosis of adenomyosis. *Ultrasound*. 2016 Nov;24(4):205-13. doi: 10.1177/1742271X16673677
- Barr RG, Ferraioli G, Palmeri ML, Goodman ZD, Garcia-Tsao G, Rubin J, Garra B, et al. Elastography assessment of liver fibrosis: Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference Statement. *Radiology*. 2015 Sep;276(3):845-61. doi: 10.1148/radiol.201515061
- Myers RP, Fong A, Shaheen AA. Utilization rates, complications and costs of percutaneous liver biopsy: a population-based study including 4275 biopsies. *Liver Int*. 2008 May;28(5):705-12. doi: 10.1111/j.1478-3231.2008.01691.x
- Barr RG. Shear wave liver elastography. *Abdom Radiol (NY)*. 2018 Apr;43(4):800-807. doi: 10.1007/s00261-017-1375-1
- Yao T-T, Pan J, Qian J-D, Cheng H, Wang Y, Wang G-Q. Shear wave elastography may be sensitive and more precise than transient elastography in predicting significant fibrosis. *World J Clin Cases*. 2020 Sep 6;8(17):3730-3742. doi: 10.12998/wjcc.v8.i17.3730
- Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, Bojunga J, Correas J-M, Gilja OH, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall Med*. 2013 Jun;34(3):238-53. doi: 10.1055/s-0033-1335375
- Dietrich CF, Bamber J, Berzigotti A, Bota S, Cantisani V, Castera L, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version). *Ultraschall Med*. 2017 Aug;38(4):e16-e47. doi: 10.1055/s-0043-103952
- Barr RG, Wilson SR, Rubens D, Garcia-Tsao G, Ferraioli G. Update to the Society of Radiologists in Ultrasound Liver Elastography Consensus Statement. *Radiology*. 2020 Aug;296(2):263-74. doi: 10.1148/radiol.2020192437
- Ferraioli G, Filice C, Castera L, Choi BI, Sporea I, Wilson SR, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 3: liver. *Ultrasound Med Biol*. 2015 May;41(5):1161-79. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2015.03.007
- Ferraioli G, Wai-Sun Wong V, Castera L, Berzigotti A, Sporea I, Dietrich CF, et al. Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations. *Ultrasound Med Biol*. 2018 Dec;44(12):2419-2440. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.008
- Ferraioli G. Review of Liver Elastography Guidelines. *J Ultrasound Med*. 2019 Jan;38(1):9-14. doi: 10.1002/jum.14856
- Bâldea V, Bende F, Popescu A, Şirli R, Sporea I. Comparative study between two 2D-Shear Waves Elastography techniques for the non-invasive assessment of liver fibrosis in patients with chronic hepatitis C virus (HCV) infection. *Med Ultrason*. 2021 Aug;23(3):257-264. doi: 10.11152/mu-2863
- Petzold G, Grieme B, Bremer SC, Knoop RF, Goetze RG, Ellenrieder V, et al. Prospective comparison of 2D-shearwave elastography in both liver lobes in healthy subjects and in patients with chronic liver disease. *Scand J Gastroenterol*. 2019 Sep;54(9):1138-1145. doi: 10.1080/00365521.2019.1653961
- Naganuma H, Ishida H, Uno A, Nagai H, Kuroda H, Ogawa M. Diagnostic problems in two-dimensional shear wave elastography of the liver. *World J Radiol*. 2020 May 28;12(5):76-86. doi: 10.4329/wjr.v12.i5.76
- Bouchet P, Gennisson J-L, Podda A, Alilet M, Carrié M, Aubry S. Artifacts and Technical Restrictions in 2D Shear Wave Elastography. *Ultraschall Med*. 2020 Jun;41(3):267-277. doi: 10.1055/a-0805-1099
- Srinivasa Babu A, Wells ML, Teytelboym OM, Mackey JE, Miller FH, Yeh BM, et al. Elastography in Chronic Liver Disease: Modalities, Techniques, Limitations, and Future Directions. *Radiographics*. 2016 Nov-Dec;36(7):1987-2006. doi: 10.1148/rg.2016160042
- Zelesco M, Abbott S, O'Hara S. Pitfalls and sources of variability in two dimensional shear wave elastography of the liver: An overview. *Sonography*. 2018 Mar;5(1):20-8. doi: 10.1002/sono.12132
- Dubinsky TJ, Shah HU, Erpelding TN, Sannanjanja B, Sonneborn R, Zhang M. Propagation Imaging in the Demonstration of Common Shear Wave Artifacts. *J Ultrasound Med*. 2019 Jun;38(6):1611-1616. doi: 10.1002/jum.14840
- Park SH, Kim SY, Suh CH, Lee SS, Kim KW, Lee SJ, et al. What we need to know when performing and interpreting US elastography. *Clin Mol Hepatol*. 2016 Sep;22(3):406-414. doi: 10.3350/cmh.2016.0106
- Goertz RS, Egger C, Neurath MF, Strobel D. Impact of food intake, ultrasound transducer, breathing maneuvers and body position on acoustic radiation force impulse

- (ARFI) elastometry of the liver. *Ultraschall Med.* 2012 Aug;33(4):380-5. doi: 10.1055/s-0032-1312816
24. Dong Y, Sirlı R, Ferraioli G, Sporea I, Chiorean L, Cui X, et al. Shear wave elastography of the liver - review on normal values. *Z Gastroenterol.* 2017 Feb;55(2):153-166. doi: 10.1055/s-0042-117226
25. Ling W, Lu Q, Quan J, Ma L, Luo Y. Assessment of impact factors on shear wave based liver stiffness measurement. *Eur J Radiol.* 2013 Feb;82(2):335-41. doi: 10.1016/j.ejrad.2012.10.004
26. Pimanov SI. *Ultrasound diagnostics in gastroenterology.* Moscow, RF: Prakt medicina; 2016. 416 p. (In Russ.)
27. Dietrich CF, ed; Sporea I, Friedrich-Rust M, Gilja OH, Bota S, Şirli R. *Liver elastography EFSUMB Course Book.* 2nd ed. Available from: https://efsumb.org/wp-content/uploads/2020/12/ECBCh03_liver_Elastography_FREE.pdf. [Accessed 24th January 2023].
28. Pimanov SI, Sychev OYu, Danilova OI. Reproducibility of ultrasonic shear-wave elastography results. *Lučevaja Diagnostika Terapija.* 2019;(S1):151-2. (In Russ.)
29. Sychev OYu, Danilova OI, Mikhaylova NA, Vergasova EV, Pimanov SI. Variability of hepatic ultrasonic shear-wave elastography results in multiple measurements. *Ul'trazvukovaja Funkcion Diagnostika.* 2019;(3 Pril):S86. (In Russ.)

Submitted 20.12.2022

Accepted 23.02.2023

Сведения об авторах:

С.И. Пиманов – д.м.н., профессор, зав. кафедрой внутренних болезней и ультразвуковой диагностики ФПК и ПК, Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, e-mail: pimanovs@tut.by – Пиманов Сергей Иванович;

В.С. Капорцева – ассистент кафедры внутренних болезней и ультразвуковой диагностики ФПК и ПК, Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет;

Н.А. Михайлова – к.м.н., врач ультразвуковой диагностики, ООО «ЛОДЭ»;

Е.В. Вергасова – к.м.н., зав. отделением ультразвуковой диагностики, ООО «ЛОДЭ».

Information about authors:

S.I. Pimanov – Doctor of Medical Sciences, professor, head of the Chair of Internal Diseases & Ultrasound Diagnostics of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, e-mail: pimanovs@tut.by – Sergey I. Pimanov;

V.S. Kaportseva – lecturer of the Chair of Internal Diseases & Ultrasound Diagnostics of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University;

N.A. Mikhailova – Candidate of Medical Sciences, ultrasound doctor, LLC "LODE";

E.V. Vergasova – Candidate of Medical Sciences, head of the department of ultrasound diagnostics, LLC "LODE".