



Сравнение особенностей эластометрии печени и селезенки

Морозов С.В., Изранов В.А.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта»,
ул. А. Невского, 14, Калининград, 236016, Российская Федерация

Морозов Сергей Викторович, аспирант ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта»;
<http://orcid.org/0000-0001-8561-4711>

Изранов Владимир Александрович, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой фундаментальной медицины Медицинского института ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта»;
<http://orcid.org/0000-0002-6440-5889>

Резюме

В обзоре представлены данные по сравнению особенностей измерения жесткости печени и селезенки, влиянию на результаты измерений различных условий (тип используемого датчика, прием пищи, количество измерений, положение пациента, фаза дыхания и т. д.). Проведен поиск литературы в базах данных PubMed и eLibrary. В частности, значения жесткости печени и селезенки по-разному изменяются на высоте вдоха и выдоха. Это объясняется кровенаполнением органов при изменении внутригрудного и внутрибрюшного давления, а также уменьшением артериального притока к селезенке на выдохе. Приводятся опубликованные данные по значениям жесткости печени и селезенки у здоровых добровольцев. Селезенка является более жестким органом по сравнению с печенью. Разная жесткость печени и селезенки объясняется особенностями кровоснабжения (большую часть притока крови селезенка получает из артерии с интенсивным потоком, печень – из воротной вены). Описаны причины повышения жесткости данных органов как в норме, так и при патологии. Исследование жесткости печени может использоваться для диагностики цирроза печени и портальной гипертензии, исследование жесткости селезенки – для диагностики портальной гипертензии, а также для косвенной диагностики наличия варикозного расширения вен пищевода и характера поражения селезенки.

Ключевые слова: жесткость селезенки; жесткость печени; эластография; сравнение жесткости; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Морозов С.В., Изранов В.А. Сравнение особенностей эластометрии печени и селезенки. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(4): 247–54. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-4-247-254>

Для корреспонденции: Морозов Сергей Викторович, E-mail: sm9310@mail.ru

Статья поступила 02.10.2020

После доработки 15.10.2020

Принята к печати 16.10.2020

Comparsion of Liver and Spleen Elastometry Features

Sergey V. Morozov, Vladimir A. Izranov

Immanuel Kant Baltic Federal University,
ul. A. Nevskogo, 14, Kalinigrad, 236016, Russian Federation

Sergey V. Morozov, Postgraduate, Immanuel Kant Baltic Federal University;
<http://orcid.org/0000-0001-8561-4711>

Vladimir A. Izranov, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Fundamental Medicine, Medical Institute, Immanuel Kant Baltic Federal University;
<http://orcid.org/0000-0002-6440-5889>

Abstract

The review presents data on the comparison of the features of liver and spleen stiffness measurements and those on the impact of various conditions on the measurement results (the type of a sensor used, food intake, number of measurements, patient position, breathing phase, etc.). Literature has been sought in the PubMed and eLibrary databases. In particular, the liver and spleen stiffness values vary differently at the height of inspiration and expiration. This is due to organ engorgement with a change in intrathoracic and intraabdominal pressures, as well as to a reduction in splenic arterial flow during exhalation. The review

gives published data on liver and spleen stiffness values in healthy volunteers. The spleen is a stiffer organ than the liver. The different liver and spleen stiffness is explained by the features of blood supply (the spleen receives the most blood supply from the intensive-flow artery; the liver does from the portal vein). The reasons for increasing the stiffness of these organs in both health and disease are described. Estimation of liver stiffness can be used to diagnose cirrhosis and portal hypertension. That of spleen stiffness can help in the diagnosis of portal hypertension and in the indirect diagnosis of the presence of esophageal varices and the nature of a splenic lesion.

Keywords: spleen stiffness; liver stiffness; elastography; comparison of stiffness; review.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Morozov SV, Izranov VA. Comparison of liver and spleen elastometry features. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(4): 247–54 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-4-247-254>

For corresponding: Sergey V. Morozov, E-mail: sm9310@mail.ru

Received October 2, 2020

Revised October 15, 2020

Accepted October 16, 2020

Введение

Эластометрия – это группа методов инструментальной диагностики, применяемых для визуализации и оценки жесткости органов и тканей. Принцип эластографии основан на представлении о том, что патологические изменения делают ткани более твердыми, жесткими и менее эластичными.

Измерение жесткости печени (ИЖП) применяется для оценки наличия цирроза печени. Селезенка является частью системы воротной вены, и как у parenхиматозного органа ее жесткость также может изменяться (и параллельно с печенью, и независимо от нее). Исследователи по всему миру провели множество работ по измерению жесткости печени и селезенки, влиянию условий проведения (прием пищи, физическая нагрузка и т.д.) на жесткость органов, изменению жесткости органов при разных патологиях. Эластография печени применяется широко; измерение жесткости селезенки (ИЖС), наоборот, в клинической практике почти не используется, хотя, безусловно, предоставляет данные, которые можно интерпретировать и использовать в диагностике.

Ранее не проводились исследования, обобщающие и сравнивающие особенности эластометрии печени и селезенки, сравнивающие патологии, которые можно диагностировать данными исследованиями. Настоящий обзор выполнен с целью сопоставления имеющихся данных о методиках проведения и результатах измерения жесткости печени и селезенки. Задачи:

- сравнить особенности методик исследования жесткости печени и селезенки;
- определить диапазоны жесткости печени и селезенки у здоровых добровольцев;
- проанализировать заболевания и их осложнения, при которых повышается жесткость печени и селезенки.

Проведен поиск научно-медицинской литературы в реферативных и наукометрических базах данных с платформ PubMed и eLibrary. Глубина поиска – с 2010 по 2020 г. Использовались поисковые термины: «селезенка», «эластография селезенки»,

«жесткость селезенки», «печень», «жесткость печени», «эластография печени», «spleen», «spleen elastography», «spleen stiffness», «liver», «liver stiffness», «liver elastography». Выполнен критический анализ подобранной литературы в соответствии с разделами, указанными в задачах исследования.

Воспроизводимость результатов измерения жесткости

Y.S. Cho et al. сообщают, что методом двумерной эластографии сдвиговой волной (2D ЭСВ) ИЖС удавалось провести у 52,9% пациентов, в то время как ИЖП – у 94,2% больных [1].

M. Balakrishnan et al. сравнили внутри- и межисследовательскую воспроизводимость результатов эластометрии печени и селезенки методом точечной эластографии сдвиговой волной (тЭСВ). Внутриисследовательская воспроизводимость результатов ИЖП составила 0,89 (95% доверительный интервал (ДИ) 0,85–0,92), ИЖС – 0,72 (95% ДИ 0,61–0,8). Межисследовательская воспроизводимость: 0,85 (95% ДИ 0,76–0,9) для ИЖП и 0,73 (95% ДИ 0,6–0,83) для ИЖС [2].

А.В. Ковалев и А.В. Борсуков сделали выводы о повышении воспроизводимости результатов при использовании усовершенствованной методики эластометрии селезенки методом 2D ЭСВ с применением нескольких положений пациента и большего количества измерений (чувствительность 92,1%, специфичность 88,5%, точность 90,5%) против стандартной методики (69,1%, 93,7%, 80,3% соответственно) [3].

По данным разных авторов, на воспроизводимость ИЖП положительно влияют наличие цирроза печени и толщина брюшной стенки менее 17,2 мм [1], отрицательно – ожирение, окружность талии более 105 см и расстояние от кожи до капсулы печени более 2 см [2]. На воспроизводимость ИЖС положительно влияют спленомегалия (длинник селезенки более 9,4 см), отрицательно – маленький ее размер [2, 4]. Узкие межреберные промежутки затрудняют как ИЖП, так и ИЖС [5].

Положение пациента

При ИЖП большинство исследователей использовали положение пациента на спине [5–12] или на левом боку [8, 9, 13]. Экспериментальное применение положения больного на левом боку показало значимое превышение средних результатов над результатами, полученными у тех же пациентов в положении на спине [8].

При ИЖС исследования проводились при положении больного лежа на спине с отведенной за голову левой рукой либо обеими руками [4, 14–23]. Также применялось положение пациента на правом боку [13].

Фаза дыхания

При исследовании печени M.H. Yun et al. обнаружили, что ее жесткость после глубокого выдоха значимо больше, чем после глубокого вдоха (8,7 и 7,9 кПа соответственно). По предположению авторов, это связано с тем, что во время выдоха уменьшаются внутригрудное давление и венозный возврат к сердцу из печеночных вен; таким образом, увеличивается кровенаполнение печени, возникает эффект «застойной печени» [24]. Такие же результаты показало исследование W. Ling et al.: жесткость печени на выдохе значимо больше жесткости на высоте вдоха (4,2 против 3,4 кПа) [25].

Другие исследователи отметили, что фаза дыхания не влияет на результаты ИЖП [26]. Задержка дыхания на несколько секунд при спокойном дыхании приводит к оптимальным результатам ИЖП [27, 28].

При исследовании селезенки пациентов на время измерения просят задержать дыхание [21]. A. Pawluś et al. проводили измерения после глубокого вдоха – такой прием улучшает визуализацию селезенки и снижает количество артефактов [16]. В исследовании M. Giuffrè et al. больные глубоко вдыхали и задерживали дыхание на 5 с [22]. Однако существуют данные о том, что при глубоком выдохе значения жесткости повышаются. T. Karlas et al. сравнили два способа дыхания при проведении эластометрии – на задержке дыхания после глубокого выдоха и после глубокого вдоха. После глубокого выдоха результаты составили $2,46 \pm 0,36$ м/с, после глубокого вдоха – $2,66 \pm 0,36$ м/с [20].

Прием пищи

Исследователи избегают измерения жесткости сразу после приема пищи. В разных работах интервал между отказом от пищи и началом исследования составлял от 4 до 8 ч [4, 15, 17, 18].

По данным M. Kjærgaard et al., повышение жесткости печени зависит от калорийности принятой пищи. После употребления 625 ккал жесткость печени повысилась на 22% (2D ЭСВ) и на 28%

(транзиентная эластометрия (ТЭ)); после употребления 1250 ккал повышение жесткости составило 31% (3D ЭСВ) и 37% (ТЭ). Жесткость селезенки увеличивается после приема пищи на 17–19%. Авторы рекомендовали проводить ИЖП и ИЖС не менее чем через 3 ч после приема пищи [29].

Количество измерений

При ИЖП проводилось от 5 до 15 измерений [5, 7–12, 25]. В работе J.H. Yoon et al. на 86 пациентах было показано, что после выполнения 6 измерений значимого изменения результата и межквартильного размаха (interquartile range, IQR) не наблюдается [5].

При исследовании селезенки в разных работах проводилось разное количество измерений – 3, 5, 10, 20 [4, 14–20, 29]. По результатам T. Karlas et al., для получения значений жесткости с IQR менее 5% достаточно 7 измерений у здоровых пациентов и 8 измерений у больных с циррозом [20]. Авторы рекомендуют проводить 10 измерений, так как эта цифра соответствует традиционному количеству ИЖП при выполнении ТЭ [20].

Влияние пола, возраста, роста, массы тела

В большинстве исследований жесткость печени была выше у мужчин, чем у женщин [6, 10, 13, 25]. Некоторые другие авторы не нашли значимых различий в показателях жесткости печени у мужчин и женщин [26, 30].

У детей младше 1 года при исследовании конвексным датчиком выявлялись меньшие значения жесткости селезенки, чем у других возрастных групп; при исследовании же линейным датчиком такой разницы не обнаружено [21]. M.J. Lee et al., изучая жесткость внутренних органов у детей, выяснили, что жесткость печени не зависит от возраста, а жесткость селезенки претерпевает изменения – в группе детей до 5 лет она несколько ниже ($2,02 \pm 0,037$ м/с), чем в группах старше 5 лет ($2,30–2,37$ м/с) [14]. Среди взрослых добровольцев разницы в жесткости селезенки среди разных возрастных групп не выявлено [18, 22, 23].

Большинство результатов ИЖС указывают на отсутствие значимой разницы между мужчинами и женщинами [4, 18, 19, 22, 23, 31–33]. Также не найдено разницы среди пациентов разного роста, с разными массой тела и индексом массы тела [18, 19, 22, 23].

Тип датчика

В исследовании жесткости печени S. Chang et al. показали, что скорость сдвиговой волны при использовании метода тЭСВ с конвексным датчиком была значительно выше, чем при применении линейного датчика на той же глубине как на фантоме, так и у здоровых добровольцев [34]. Возможно,

эти различия связаны с различными частотой и пространственным разрешением конвексного и линейного датчиков.

По результатам исследования на фантоме, линейный датчик обеспечивал надежный коэффициент вариации на расстоянии 5–40 мм между датчиком и областью интереса, а конвексный датчик – на расстоянии 25–60 мм [35].

T. Sañas et al. изучали разницу между значениями жесткости селезенки, полученными конвексным и линейным датчиками, и не выявили статистически

значимой разницы (конвексный датчик – 2,17 м/с, 95% ДИ 2,08–2,26; линейный датчик – 2,15 м/с, 95% ДИ 2,09–2,21), но обнаружили более низкую вариабельность результатов при исследовании линейным датчиком, чем конвексным [21].

Результаты измерения жесткости печени и селезенки

Найденные в литературе значения жесткости печени и селезенки у здоровых добровольцев представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты исследований жесткости печени у здоровых добровольцев (по данным литературы)

Table 1

Results of studies of liver stiffness in healthy volunteers (according to the literature)

Метод измерения / Measurement method	Авторы (год) / Authors (year)	Значения жесткости, кПа / Stiffness values, kPa	Возраст добровольцев / Age of volunteers
Транзиентная эластометрия / Transient elastography	R. Sirli et al. (2013) [10]	4,8 ± 1,30	Взрослые / Adults
	R. Madhok et al. (2013) [30]	4,3 ± 1,20	Взрослые / Adults
Точечная эластография сдвиговой волной / Point shear wave elastography	R. Madhok et al. (2013) [30]	3,96 ± 0,13	Взрослые / Adults
	E.B. Феоктистова и др. (2013) [11] / E.V. Feoktistova et al. (2013) [11]	4,62 ± 1,52	Взрослые / Adults
Двухмерная эластография сдвиговой волной / Two-dimensional shear wave elastography	J.H. Yoon et al. (2014) [5]	5,12 ± 1,46	Взрослые / Adults
	Z. Huang et al. (2014) [6]	5,10 ± 1,02	Взрослые / Adults
	S. Franchi-Abella et al. (2016) [26]	6,53 ± 1,38	Дети (0–15 лет) / Children (0–15 years)

Таблица 2

Результаты исследований жесткости селезенки у здоровых добровольцев (по данным литературы)

Table 2

Results of studies of spleen stiffness in healthy volunteers (according to the literature)

Метод измерения / Measurement method	Авторы (год) / Authors (year)	Значения жесткости, кПа / Stiffness values, kPa	Возраст добровольцев / Age of volunteers
Транзиентная эластометрия / Transient elastography	A. Batur et al. (2019) [31]	12,97 ± 0,11	Взрослые / Adults
	T. Karlas et al. (2014) [20]	18,15 ± 0,39	Взрослые / Adults
	M. Giuffrè et al. (2019) [22]	18,14 ± 3,08	Взрослые / Adults
Двухмерная эластография сдвиговой волной / Two-dimensional shear wave elastography	Y.S. Cho et al. (2019) [17]	20,5 ± 5,4	Взрослые / Adults
	M. Giuffrè et al. (2019) [22]	17,73 ± 2,91 (у мужчин), 16,72 ± 3,32 (у женщин) / 17.73 ± 2.91 (in males), 16.72 ± 3.32 (in females)	Взрослые / Adults
	F.B. Palabiyik et al. (2017) [15]	12,36 (4,92–18,45)	Младенцы (0–70 дней) / Babies (0–70 days)
Точечная эластография сдвиговой волной / Point shear wave elastography	M.J. Lee et al. (2013) [14]	12,24 ± 0,004 (0–5 лет), 16,85 ± 0,005 (5–10 лет), 15,87 ± 0,01 (старше 10 лет) / 12.24 ± 0.004 (0–5 years), 16.85 ± 0.005 (5–10 years), 15.87 ± 0.01 (over 10 years)	Дети (0–18 лет) / Children (0–18 years)

Причины повышения жесткости печени и селезенки

ИЖП применяется для оценки наличия цирроза печени. При циррозе печени ее жесткость возрастает до 15–100 кПа. Обращает на себя внимание значительный рост при переходе от нормальной ткани к патологической: жесткость печени при скорости распространения сдвиговой волны 1 м/с составляет 3 кПа, в то время как при скорости 3 м/с модуль Юнга достигает 27 кПа, что соответствует наличию цирроза печени [36].

У пациентов с декомпенсированным циррозом жесткость печени более 24,6 кПа указывает на наличие клинически значимой портальной гипертензии (чувствительность 81%, специфичность 88%) [4].

Болезни, которые сопровождаются повышением жесткости селезенки, можно разделить на три группы: инфекционные, миелопролиферативные, болезни печени и системы воротной вены; кроме того, выделяют болезни накопления. A. Batur et al. методом тЭСВ исследовали, как меняется жесткость селезенки при этих группах заболеваний. При болезнях печени и системы воротной вены жесткость составляла $3,27 \pm 0,36$ м/с, при миело-пролиферативных заболеваниях – $2,98 \pm 0,33$ м/с, при инфекционных болезнях – $2,44 \pm 0,21$ м/с. Очевидно, что при различных заболеваниях, вызывающих спленомегалию, паренхима селезенки заполняется разными клетками и, соответственно, по-разному меняются механические свойства самой селезенки. Таким образом, эластография селезенки может служить способом дифференциальной диагностики между тремя вышеназванными группами заболеваний [31].

Значения жесткости печени и селезенки не различаются у пациентов с варикозно расширенными венами пищевода (ВРВП) с высоким риском разрыва и без таковых – т.е. предсказывать наличие ВРВП по жесткости органов не представляется возможным [4]. Можно лишь исключить с вероятностью 88,9% наличие ВРВП с высоким риском разрыва у взрослых больных с жесткостью селезенки менее 35,8 кПа [37].

У детей отмечается корреляция с наличием портальной гипертензии при значении жесткости печени более 2,09 м/с (чувствительность 77%, специфичность 80%) и при значении жесткости селезенки более 3,14 м/с (чувствительность 68%, специфичность 99%) [19].

Также есть данные о том, что жесткость селезенки достоверно повышается при внепеченочной обструкции воротной вены: среднее значение жесткости $44,92 \pm 12,35$ кПа [32].

Обсуждение

Меньшая внутри- и межисследовательская воспроизводимость измерений селезенки по срав-

нению с печенью объясняется при сравнении синтопии органов. Печень является довольно объемным органом (масса около 1500 г), она своей обширной диафрагмальной поверхностью непосредственно прилегает к брюшной стенке, что облегчает визуализацию. Селезенка – гораздо меньший по объему орган (100–300 г), синтопически рядом с ним располагаются желудок, петли тонкой кишки, ободочная кишка [38]. Эти структуры часто заполнены неоднородным содержимым, что затрудняет визуализацию.

Обращает на себя внимание тот факт, что результаты ИЖП и ИЖС меняются по-разному при вдохе и выдохе: на высоте вдоха жесткость печени уменьшается, а жесткость селезенки увеличивается; после глубокого выдоха жесткость печени становится больше, а жесткость селезенки – меньше. Как уже ранее предполагалось [24], после выдоха увеличивается кровенаполнение печени, что повышает ее жесткость, а после вдоха ее кровенаполнение уменьшается, соответственно, уменьшается и жесткость печени. Что касается селезенки, то уменьшение ее жесткости на выдохе можно объяснить тем, что при глубоком выдохе чревной ствол сдавливается ножками диафрагмы [39], таким образом, уменьшается артериальный приток к селезенке, который вносит значительный вклад в формирование ее жесткости. При вдохе компрессия чревного ствола прекращается, и артериальный приток к селезенке восстанавливается.

После приема пищи жесткость и печени, и селезенки повышается. Вероятно, это связано с интенсификацией кровотока в органах желудочно-кишечного тракта.

При выборе места расположения зоны интереса для измерения жесткости как печени, так и селезенки важно, чтобы она находилась на расстоянии до 6 см от датчика и на глубине не менее 1 см от капсулы органа. Это связано с тем, что от капсулы паренхиматозных органов вглубь отходят соединительнотканые трабекулы [40]. При выборе зоны интереса для ИЖС важно, чтобы в момент измерения на линии между датчиком и зоной интереса в селезенке не было «воздушных» структур (левого легкого, желудка, кишечника), что повысит точность и воспроизводимость измерения.

По данным исследований, жесткость печени в норме находится в пределах 4,0–6,5 кПа, а жесткость селезенки – в пределах 12–21 кПа. Существует предположение, что жесткость селезенки больше жесткости печени потому, что селезенка воспринимает большое кровяное давление от селезеночной артерии, отходящей от чревного ствола, а печень большую часть крови принимает из воротной вены, где такое давление не оказывается [41]. Это предположение косвенно подтвержда-

ется данными M.J. Lee et al. [14]. Известно, что почки, так же как и селезенка, получают кровь из артерии, что создает сильное кровяное давление. Действительно, у детей жесткость печени составила 1,12 м/с, селезенки – 2,25 м/с, правой почки – 2,19 м/с, левой почки – 2,33 м/с. Значения жесткости почек и селезенки сопоставимы, значения жесткости печени сравнительно меньше [14]. Из этого следует, что результаты ИЖС могут зависеть от артериального давления – у пациентов с высоким давлением жесткость селезенки больше. Кроме того, в литературе не удалось найти работ по влиянию физических нагрузок на жесткость селезенки. Данные предположения требуют дополнительных исследований.

Заключение

По результатам проведенного обзора литературы можно сделать следующие выводы.

1. Методики измерения жесткости печени и селезенки не отличаются в плане положения пациента, приема пищи, глубины и места расположения зоны интереса, количества измерений, типа датчика. Воспроизводимость ИЖП выше, чем воспроизводимость ИЖС.

2. Полученные значения жесткости печени достоверно меньше значений жесткости селезенки, селезенка является более жестким органом. Это можно связать с различиями в клеточном составе селезенки и печени и с давлением, которое оказывает на селезенку кровь из одноименной артерии.

3. Измерение жесткости как печени, так и селезенки, может использоваться как критерий диагностики портальной гипертензии. Кроме того, ИЖП может применяться для диагностики цирроза печени, ИЖС – как маркер исключения развития ВРВП и для косвенной диагностики характера поражения селезенки.

Литература [References]

1. Cho YS, Lim S, Kim Y, et al. Spleen stiffness measurement using 2-dimensional shear wave elastography: the predictors of measurability and the normal spleen stiffness value. *J Ultrasound Med.* 2019; 38(2): 423–31. <https://doi.org/10.1002/jum.14708>.
2. Balakrishnan M, Souza F, Muñoz C, et al. Liver and spleen stiffness measurements by point shear wave elastography via acoustic radiation force impulse: intraobserver and interobserver variability and predictors of variability in a US population. *J Ultrasound Med.* 2016; 35(11): 2373–80. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.10056>.
3. Ковалев А.В., Борсуков А.В. Возможности усовершенствованной методики эластографии сдвиговых волн селезенки в многопрофильном стационаре. Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: естественные, технические и медицинские науки. 2015; 4(67): 325–9. [Kovalev AV, Borsukov AV. Features of improved methodologies of elastography of shear waves spleen in multidisciplinary hospital. *Scientific Notes of the Orel State University. Series: Natural, Technical and Medical Sciences.* 2015; 4(67): 325–9 (in Russian).]
4. Elkrief L, Rautou PE, Ronot M, et al. Prospective comparison of spleen and liver stiffness by using shear-wave and transient elastography for detection of portal hypertension in cirrhosis. *Radiology.* 2015; 275(2): 589–98. <https://doi.org/10.1148/radiol.14141210>.
5. Yoon JH, Lee JM, Han JK, Choi BI. Shear wave elastography for liver stiffness measurement in clinical sonographic examinations: evaluation of intraobserver reproducibility, technical failure, and unreliable stiffness measurements. *J Ultrasound Med.* 2014; 33(3): 437–47. <https://doi.org/10.7863/ultra.33.3.437>.
6. Huang Z, Zheng J, Zeng J, et al. Normal liver stiffness in healthy adults assessed by real-time shear wave elastography and factors that influence this method. *Ultrasound Med Biol.* 2014; 40(11): 2549–55. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.05.008>.
7. Castéra L, Foucher J, Bernard PH, et al. Pitfalls of liver stiffness measurement: a 5-year prospective study of 13,369 examinations. *Hepatology.* 2010; 51(3): 828–35. <https://doi.org/10.1002/hep.23425>.
8. Изранов В.А., Степанян И.А., Мартинович М.В. ARFI-эластометрия печени у здоровых добровольцев: стандартизация методики. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Естественные и медицинские науки. 2016; 2: 77–85. [Izranov VA, Stepanyan IA, Martinovich MV. ARFI-liver elastometry in healthy volunteers: standardization of the method. *Bulletin of Kant Baltic Federal University. Natural and Medical Sciences.* 2016; 2: 77–85 (in Russian).]
9. Степанян И.А., Кобинец Ю.В., Изранов В.А., Овчинников О.И. Диффузные изменения печени: оценка эффективности диагностики методом стандартизированной ARFI-эластометрии. Лучевая диагностика и терапия. 2018; 1: 30–5. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-1-30-35>. [Stepanyan IA, Kobinets YuV, Izranov VA, Ovchinnikov OI. Diffuse liver changes: assessment of ARFI-elastometry diagnostics efficacy. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2018; 1: 30–5 (in Russian).] <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-1-30-35>.]
10. Sirli R, Bota S, Sporea I, et al. Liver stiffness measurements by means of supersonic shear imaging in patients without known liver pathology. *Ultrasound Med Biol.* 2013; 39(8): 1362–7. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.03.021>.
11. Феоктистова Е.В., Пыков М.И., Амосова А.А. и др. Применение ARFI-эластографии для оценки жесткости печени у детей различных возрастных групп. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2013; 6: 46–55. [Feoktistova EV, Pykov MI, Amosova AA, et al. ARFI elastography in liver stiffness assessment in healthy children of different age. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2013; 6: 46–55 (in Russian).]

12. Ferraioli G, Tinelli C, Dal Bello B, et al. Accuracy of real-time shear wave elastography for assessing liver fibrosis in chronic hepatitis C: a pilot study. *Hepatology*. 2012; 56(6): 2125–33. <https://doi.org/10.1002/hep.25936>.
13. Leung VY, Shen J, Wong VW, et al. Quantitative elastography of liver fibrosis and spleen stiffness in chronic hepatitis B carriers: comparison of shear-wave elastography and transient elastography with liver biopsy correlation. *Radiology*. 2013; 269(3): 910–8. <https://doi.org/10.1148/radiol.13130128>.
14. Lee MJ, Kim MJ, Han KH, Yoon CS. Age-related changes in liver, kidney, and spleen stiffness in healthy children measured with acoustic radiation force impulse imaging. *Eur J Radiol*. 2013; 82(6): e290–4. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.01.018>.
15. Palabiyik FB, Inci E, Turkey R, Bas D. Evaluation of liver, kidney, and spleen elasticity in healthy newborns and infants using shear wave elastography. *J Ultrasound Med*. 2017; 36(10): 2039–45. <https://doi.org/10.1002/jum.14202>.
16. Pawluś A, Inglot M, Chabowski M, et al. Shear wave elastography (SWE) of the spleen in patients with hepatitis B and C but without significant liver fibrosis. *Br J Radiol*. 2016; 89(1066): 20160423. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160423>.
17. Cho YS, Lim S, Kim Y, et al. Spleen stiffness measurement using 2-Dimensional shear wave elastography: the predictors of measurability and the normal spleen stiffness value. *J Ultrasound Med*. 2019; 38(2): 423–31. <https://doi.org/10.1002/jum.14708>.
18. Albayrak E, Server S. The relationship of spleen stiffness value measured by shear wave elastography with age, gender, and spleen size in healthy volunteers. *J Med Ultrason* (2001). 2019; 46(2): 195–9. <https://doi.org/10.1007/s10396-019-00929-3>.
19. Burak Özkan M, Bilgici MC, Eren E, Caltepe G. Diagnostic accuracy of point shear wave elastography in the detection of portal hypertension in pediatric patients. *Diagn Interv Imaging*. 2018; 99(3): 151–6. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2017.10.009>.
20. Karlas T, Lindner F, Tröltzsch M, Keim V. Assessment of spleen stiffness using acoustic radiation force impulse imaging (ARFI): definition of examination standards and impact of breathing maneuvers. *Ultraschall Med*. 2014; 35(1): 38–43. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1356230>.
21. Cañas T, Fontanilla T, Miralles M, et al. Normal values of spleen stiffness in healthy children assessed by acoustic radiation force impulse imaging (ARFI): comparison between two ultrasound transducers. *Pediatr Radiol*. 2015; 45(9): 1316–22. <https://doi.org/10.1007/s00247-015-3306-z>.
22. Giuffrè M, Macor D, Masutti F, et al. Evaluation of spleen stiffness in healthy volunteers using point shear wave elastography. *Ann Hepatol*. 2019; 18(5): 736–41. <https://doi.org/10.1016/j.aohep.2019.03.004>.
23. Pawluś A, Inglot MS, Szymańska K, et al. Shear wave elastography of the spleen: evaluation of spleen stiffness in healthy volunteers. *Abdom Radiol (NY)*. 2016; 41(11): 2169–74. <https://doi.org/10.1007/s00261-016-0834-4>.
24. Yun MH, Seo YS, Kang HS, et al. The effect of the respiratory cycle on liver stiffness values as measured by transient elastography. *J Viral Hepat*. 2011; 18(9): 631–6. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2893.2010.01376.x>.
25. Ling W, Lu Q, Quan J, et al. Assessment of impact factors on shear wave based liver stiffness measurement. *Eur J Radiol*. 2013; 82(2): 335–41. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.10.004>.
26. Franchi-Abella S, Corno L, Gonzales E, et al. Feasibility and diagnostic accuracy of supersonic shear-wave elastography for the assessment of liver stiffness and liver fibrosis in children: a pilot study of 96 patients. *Radiology*. 2016; 278(2): 554–62. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142815>.
27. Cui XW, Friedrich-Rust M, De Molo C, et al. Liver elastography, comments on EFSUMB elastography guidelines 2013. *World J Gastroenterol*. 2013; 19(38): 6329–47. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i38.6329>.
28. Barr RG, Ferraioli G, Palmeri ML, et al. Elastography assessment of liver fibrosis: society of radiologists in ultrasound consensus conference statement. *Radiology*. 2015; 276(3): 845–61. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015150619>.
29. Kjærgaard M, Thiele M, Jansen C, et al. High risk of misinterpreting liver and spleen stiffness using 2D shear-wave and transient elastography after a moderate or high calorie meal. *PLoS One*. 2017; 12(4): e0173992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173992>.
30. Madhok R, Tapasvi C, Prasad U, et al. Acoustic radiation force impulse imaging of the liver: measurement of the normal mean values of the shearing wave velocity in a healthy liver. *J Clin Diagn Res*. 2013; 7(1): 39–42. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2012/5070.2665>.
31. Batur A, Alagoz S, Durmaz F, et al. Measurement of spleen stiffness by shear-wave elastography for prediction of splenomegaly etiology. *Ultrasound Q*. 2019; 35(2): 153–6. <https://doi.org/10.1097/RUQ.0000000000000403>.
32. Madhusudhan KS, Kilambi R, Shalimar, et al. Measurement of splenic stiffness by 2D-shear wave elastography in patients with extrahepatic portal vein obstruction. *Br J Radiol*. 2018; 91(1092): 20180401. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180401>.
33. Procopet B, Berzigotti A, Abraldes JG, et al. Real-time shear-wave elastography: applicability, reliability and accuracy for clinically significant portal hypertension. *J Hepatol*. 2015; 62(5): 1068–75. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2014.12.007>.
34. Chang S, Kim MJ, Kim J, Lee MJ. Variability of shear wave velocity using different frequencies in acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography: a phantom and normal liver study. *Ultraschall Med*. 2013; 34(3): 260–5. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1313008>.
35. Yamanaka N, Kaminuma C, Taketomi-Takahashi A, Tsushima Y. Reliable measurement by virtual touch tissue quantification with acoustic radiation force impulse imaging: phantom study. *J Ultrasound Med*. 2012; 31(8): 1239–44. <https://doi.org/10.7863/jum.2012.31.8.1239>.
36. Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В. Ультразвуковая эластография: аналитическое описание различных режимов и технологий, физическое и численное моделирование сдвиговых характеристик мягких биологических тканей. Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет; 2015. [Gurbatov SN, Demin IYu, Pronchatov-Rubtsov NV. Ultrasound elastography: analytical description of various modes and technologies, physical and numerical modeling of shear characteristics of soft biological tissues. Nizhny Novgorod; 2015 (in Russian).]
37. Karagiannakis DS, Voulgaris T, Koureta E, et al. Role of spleen stiffness measurement by 2D-shear wave elastography in ruling out the presence of high-risk varices in cirrhotic patients. *Dig Dis Sci*. 2019; 64(9): 2653–60. <https://doi.org/10.1007/s10620-019-05616-4>.

38. Привес М.Г., Лысенков Н.К., Бушкович В.И. Анатомия человека. 12-е изд. СПб.: Издательский дом СПбМАПО; 2010.
[Prives MG, Lysenkov NK, Bushkovich VI. Human anatomy. 12th ed. Saint Petersburg; 2010 (in Russian).]
39. Куликов В.П. Основы ультразвукового исследования сосудов. М.: Видар-М; 2015.
[Kulikov VP. Basics of ultrasound examination of blood vessels. Moscow: Vidar-M; 2015 (in Russian).]
40. Кузнецов С.Л., Мушкambarов Н.Н., Горячкина В.Л. Атлас по гистологии, цитологии и эмбриологии. 2-е изд. М.: ООО «Медицинское информационное агентство»; 2010.
[Kuznetsov SL, Mushkambarov NN, Goryachkina V.L. Atlas of histology, cytology and embryology. 2nd ed. Moscow: Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo; 2010 (in Russian).]
41. Rifai K, Cornberg J, Bahr M, et al. ARFI elastography of the spleen is inferior to liver elastography for the detection of portal hypertension. *Ultraschall Med.* 2011; 32 Suppl 2: E24–30. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1281771>.