

С. В. Морозов, В. А. Изранов

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЭЛАСТОМЕТРИЯ СЕЛЕЗЕНКИ (ОБЗОР)

92

Измерение жесткости селезенки является недостаточно освещенным в литературе методом исследования, хотя позволяет диагностировать ряд заболеваний внутренних органов. Цель статьи – изучение влияния различных факторов на получаемые значения жесткости селезенки. Проведен поиск публикаций по данной тематике в базах данных РИНЦ и PubMed, авторитетных учебных пособиях. Эластометрия селезенки не описана в современных клинических рекомендациях, поэтому авторы публикаций применяют собственные методики исследования и получают разные результаты. Данные о способах проведения исследования, значениях жесткости в норме и при различных заболеваниях систематизированы в таблицах. Выявлены факторы, влияющие на результаты измерения жесткости у здоровых добровольцев (среди них – положение пациента, прием пищи, фаза дыхания, количество измерений), получены нормальные значения жесткости селезенки. Выявлено, что жесткость селезенки не зависит от пола, роста, массы тела и индекса массы тела. Выделен круг заболеваний, при которых жесткость селезенки достоверно выше нормальных значений: цирроз печени, портальная гипертензия, варикозное расширение вен пищевода III степени, обструкция воротной вены. Необходима дискуссия для выработки согласованного мнения по методике исследования и нормативным значениям жесткости селезенки.

Measuring spleen stiffness is an insufficiently described diagnostic method, although it allows to diagnose some of internal diseases. The purpose of the paper is to study the influence of various factors on the obtained values of spleen stiffness. The authors gave an overview of the relevant publications in the RSCI and PubMed databases and well-acknowledged textbooks. Spleen elastometry is not described in current clinical guidelines, so the authors of publications rely on their own research methods and get different results. The authors provide a systematization of the research methodology, the values of stiffness for the norm and in the conditions of various diseases. Factors affecting the results of stiffness measurement in healthy volunteers (the patient's position, food intake, respiratory phase, number of measurements) were identified, which resulted in mean values of spleen stiffness. It was found that spleen stiffness does not depend on gender, height, body weight, and body mass index. The study reveals a range of diseases in which the spleen stiffness is significantly higher than normal values, and it includes liver cirrhosis, portal hypertension, esophageal varicose veins Grade III and portal vein obstruction. A discussion to develop a consent opinion on the research methodology and normative values of spleen stiffness will certainly support the further study.

Ключевые слова: эластография, жесткость селезенки, ультразвук, область измерения, индекс массы тела.

Keywords: spleen elastography, stiffness, ultrasound, measurement area, body mass index.



Введение

Селезенка как лимфоидный орган участвует в элиминации микроорганизмов и антигенов из периферической крови, генерации гуморальных и клеточных факторов иммунной реакции на антигены, обеспечивает депонирование здоровых клеток крови и секвестрацию аномальных клеток [1]. Эластография — современный метод оценки жесткости органов и тканей. Жесткость тканей можно оценивать методами ультразвуковой и магнитно-резонансной эластографии.

Принцип эластографии основан на предположении, что патологические изменения делают ткани более твердыми и менее эластичными. Ткани селезенки при патологии также становятся более жесткими.

В статье К. Ф. Дитриха и соавторов [2] дается представление о двух основных типах эластографии по признаку физических основ — стрейновой, деформирующей ткани (от англ. strain — «деформация») и эластографии сдвиговой волной (ЭСВ; от англ. shear wave — «сдвиговая волна») [2]. Стрейновая эластография (strain elastography) дает качественную информацию, соотношение, насколько одна ткань более жесткая по сравнению с другой. Эластография сдвиговой волной (shear wave elastography) — это количественный метод, позволяющий измерить уровень жесткости ткани, что может быть оценено с помощью скорости сдвиговой волны (ССВ) в м/с или конвертировано в модуль Юнга с помощью формулы

$$E = 3\rho C^2,$$

где E — модуль упругости Юнга (кПа); C — скорость сдвиговой волны (м/с); ρ — плотность вещества (кг/м³) [3].

Для измерения жесткости селезенки применяются следующие методики ультразвуковой эластографии:

1) транзистентная эластография (ТЭ) (механический удар специального датчика по поверхности кожи);

2) ARFI-эластография (деформация тканей происходит в результате коротких «толчковых» импульсов сфокусированного акустического излучения) [2];

3) двухмерная эластография сдвиговой волной — метод визуализации упругости, который использует силу звукового излучения для генерации множественных сдвиговых волн на различной глубине и формирования количественного отображения показателя жесткости в виде цветового изображения, которое «накладывается» на изображение в В-режиме [2].

За последние годы проведено большое количество работ по эластографии селезенки. Однако разнообразие методик и аппаратуры для эластографии является проблемой, влияющей на сопоставление результатов исследования. Это требует стандартизации различных методов исследования различными аппаратами и операторами, чтобы выработать общепринятые референсные значения жесткости и избежать ошибочной трактовки данных. Кроме того, отсутствуют разработанные



клинические рекомендации по измерению жесткости селезенки, этот метод исследования применяется крайне редко, его возможности недооценены.

Цель исследования: изучить влияние различных факторов на результаты измерения жесткости селезенки.

Задачи:

- 1) исследовать особенности проведения известных методик измерения жесткости селезенки;
- 2) провести обзор результатов измерений у здоровых добровольцев;
- 3) выявить факторы и вероятные причины повышения жесткости селезенки.

Методы исследования

Поиск научно-медицинской информации проводился в базах данных PubMed, Российской научной электронной библиотеке, интегрированной с Российским индексом научного цитирования, а также в известных учебных пособиях по патологической анатомии и гематологии. Глубина поиска — с 1990 по 2020 г. Использовались поисковые термины «селезенка», «эластография селезенки», «жесткость селезенки», «spleen», «spleen elastography», «spleen stiffness». Проведен критический анализ найденной литературы в соответствии с разделами, указанными в задачах исследования.

Всего найдено 59 публикаций. Среди отечественных авторов найдено 8 статей, основные авторы — А. В. Борсуков, Т. Г. Морозова, А. В. Ковалев, их исследования посвящены стандартизации методики эластометрии селезенки и значениях жесткости селезенки при диффузных заболеваниях печени.

Результаты и обсуждение

Методики исследования жесткости селезенки

Среди отечественных и зарубежных клинических рекомендаций не удалось найти рекомендаций по проведению эластографии селезенки. Методики измерения жесткости селезенки являются предметом обсуждения [4].

Селезенку исследуют методами транзиентной эластографии [5–7], методом ARFI [8; 9] и двухмерной эластографии сдвиговой волной [4; 6; 7; 10–16].

Многочисленные исследования показывают, что не всем пациентам удается провести исследование жесткости селезенки. Исследование Л. Элкриф с соавторами [17] показало, что измерения ЭСВ успешнее, чем ТЭ (97 % против 42 %). ЭСВ позволяет проводить измерение жесткости у пациентов с ожирением или асцитом — для ТЭ эти состояния являются ограничениями метода [14]. Среди детей методом ЭСВ исследование удавалось провести у 81–85 % детей, а методом ARFI — у 95–97 % [18; 20]. Кроме того, известно, что воспроизводимость результатов измерений жесткости селезенки несколько меньше, чем при исследовании печени [20; 21].

Тип датчика

При исследовании жесткости печени С. Чанг и соавторы [22] показали, что скорость сдвиговой волны при использовании метода ARFI с конвексным датчиком была значительно выше, чем при использовании линейного датчика на той же глубине, как при исследовании на фантоме, так и у здоровых добровольцев. Возможно, что эти различия связаны с различной частотой и различным пространственным разрешением конвексного и линейного датчиков.

При исследовании же селезенки подобных данных недостаточно, найдено лишь одно исследование — Т. Канас с соавторами [23], — где изучали разницу между значениями жесткости селезенки, полученными конвексным и линейным датчиками, и не выявили значимой разницы.

95

Проведение процедуры эластометрии

Особенности проведения эластометрии по данным разных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Особенности проведения процедуры эластометрии

Автор	Положение пациента	Фаза дыхания во время измерения	Количество измерений
Batur A. et al. [8]	Лежа на правом боку, левая рука максимально отведена	Задержка дыхания в «нейтральном» положении	9 (по 3 в верхнем полюсе, области ворот, нижнем полюсе)
Özkana M.B. et al. [18]	Лежа на спине, левая рука максимально отведена	Задержка дыхания на 3 с	10 (в разных местах органа)
Palabiyik F.B. et al. [12]	Лежа на спине	Обычное дыхание	5 (в одном и том же месте)
Kjærgaard M. et al. [6]	Лежа на спине, руки за головой	Задержка дыхания после выдоха	10 (в одном и том же месте)
Pawluś A. et al. [13]	Лежа на спине, руки за головой	После глубокого вдоха	3 (в центральной части органа)
Cho Y.S. et al. [14]	Лежа на спине или на правом боку, левая рука максимально отведена	Подбирается так, чтобы обеспечить наилучшую визуализацию селезенки и наименьшее количество артефактов	5
Albayrak E. et al. [16]	Лежа на спине, левая рука максимально отведена	Обычное дыхание, без глубоких вдоха и выдоха	3 (в средней части селезенки)
Sañas T. et al. [23]	Лежа на спине	Обычное дыхание	5

Окончание табл. 1

Автор	Положение пациента	Фаза дыхания во время измерения	Количество измерений
Giuffrè M. et al. [24]	Лежа на спине, левая рука максимально отведена	Задержка дыхания в «нейтральном» положении	20
Karlas T. et al. [19]	Лежа на спине, руки за головой	Задержка дыхания после обычного выдоха, также после глубокого вдоха (изучалось влияние дыхания на жесткость)	40 (между центральной частью и нижним полюсом селезенки)
Leea M.-J. et al. [9]	Лежа на спине	Задержка дыхания на время измерения, если ребенок может его контролировать	2–3

Чаще всего исследование проводилось при положении пациента лежа на спине или на правом боку с отведенной за голову левой рукой; дыхание пациента регулировалось по-разному, но обычно на время измерения пациента просили задержать дыхание; проводилось от 3 до 10 измерений.

А. В. Ковалев и А. В. Борсуков [4] предложили следующую методику расположения пациента. Сначала (этап 1) исследование проводится при положении пациента лежа на правом боку с запрокинутой за голову левой рукой, датчик установлен параллельно реберной дуге. Затем (этап 2) датчик устанавливается перпендикулярно реберной дуге. После (этап 3) жесткость органа измеряется у пациента, лежащего на спине с запрокинутой за голову левой рукой, датчик располагают и параллельно, и перпендикулярно реберной дуге. Измерение проводится в 7 различных точках селезенки, на расстоянии 4–5 мм от капсулы селезенки и крупных сосудов. Проведение исследования на спине необходимо в качестве уточняющего исследования при недостаточной визуализации селезенки на первом и втором этапах или трудностях при эластографии сдвиговых волн (неустойчивая фиксация изображения, смещение за счет дыхательных движений и др.). Данный этап не проводится, если все точки измерения на 1–2-м этапах устойчивы при эластографии.

Особенности дыхания пациента

Почти во всех исследованиях пациентов на время измерения просят задержать дыхание [23]. А. Паулюс [13] отмечает, что измерение жесткости проводилось после глубокого вдоха, так как это обеспечивает лучшую визуализацию селезенки и снижает количество артефактов. В исследовании М. Жюффре и соавторов [24] пациенты глубоко вдыхали и задерживали дыхание на 5 с. Однако существуют данные, что при глубоком вдохе значения жесткости завышаются. Т. Карлас и соавторы



[19] сравнили два способа дыхания при проведении эластометрии — на задержке дыхания после выдоха и при глубоком вдохе. Измерение на глубоком вдохе вызывало повышение жесткости селезенки — на выдохе $2,46 \pm 0,36$ м/с, на глубоком вдохе $2,66 \pm 0,36$ м/с.

Особенности проведения исследования у детей

Детей располагали в положении лежа на спине, измерения проводились при задержке дыхания, если ребенок мог его контролировать, или независимо от фазы дыхания [9; 12].

Расположение зоны интереса

Измерение проводилось на глубине не менее 1 см от капсулы селезенки [9; 12; 24]. Это можно объяснить тем, что непосредственно от капсулы селезенки отходит большое количество соединительнотканых трабекул, из-за чего жесткость селезенки в этих местах больше.

Количество измерений

В разных исследованиях проводилось разное количество измерений — 3 [9; 13; 16–18], 5 [12; 14], 10 [6], 20 [19]. Как правило, измерения проводились в разных частях селезенки [8; 17], но в исследовании А. Паулюс [13] измерения проводили в центральной части органа. Работа Т. Карласа и соавторов [19] показало, что для получения значений жесткости с разбросом менее 5% достаточно 7 измерений у здоровых пациентов и 8 — у пациентов с компенсированным циррозом. Но рекомендуют проводить 10 измерений, так как эта цифра соответствует количеству измерений жесткости при проведении ARFI-эластометрии печени и ТЭ аппаратом *Fibroscan* (Франция) [19].

Результаты измерений у здоровых добровольцев

Широко обсуждаются значения нормы жесткости селезенки и их значения при различных заболеваниях [4]. Значения жесткости систематизированы в таблицах 2, 3. Для удобства восприятия значения жесткости в последнем столбце указаны в м/с.

Таблица 2

Значения жесткости селезенки у здоровых пациентов, полученные методом ЭСВ

Автор	Возраст добровольцев	Значение жесткости	Значение жесткости в кПа
Cho Y.S. et al. [14]	Взрослые	$20,5 \pm 5,4$ кПа	$20,5 \pm 5,4$
Pawluś A. et al. [13]	Взрослые	$16,6 \pm 2,5$ кПа	$16,6 \pm 2,5$
Albayrak E. et al. [16]	Взрослые	$13,82 \pm 2,91$ кПа	$13,82 \pm 2,91$

Окончание табл. 2

Автор	Возраст добровольцев	Значение жесткости	Значение жесткости в кПа
Giuffrè M. et al. [24]	Взрослые	У мужчин $17,73 \pm 2,91$ кПа, у женщин $16,72 \pm 3,32$ кПа	У мужчин $17,73 \pm 2,91$, у женщин $16,72 \pm 3,32$
Palabiyik F.B. et al. [12]	1–70 дней	$2,03 (1,28 - 2,48)$ м/с	$12,36 (4,92 - 18,45)$

Таблица 3

98

Значения жесткости селезенки у здоровых пациентов, полученные методом ARFI

Автор	Возраст добровольцев	Значение жесткости	Значение жесткости в кПа
Leea M.-J. et al. [9]	Дети	$2,02 \pm 0,037$ м/с (0–5 лет), $2,37 \pm 0,041$ м/с (5–10 лет), $2,3 \pm 0,058$ м/с (старше 10 лет)	$12,24 \pm 0,004$ (0–5 лет), $16,85 \pm 0,005$ (5–10 лет), $15,87 \pm 0,01$ (старше 10 лет)
Sañas T. et al. [23]	Дети	$2,17 \pm 0,35$ м/с (конвексный датчик), $2,15 \pm 0,23$ м/с (линейный датчик)	$14,13 \pm 0,37$ (конвексный датчик), $13,87 \pm 0,16$
Batur A. et al. [8]	Взрослые	$2,15 \pm 0,19$ м/с	$13,87 \pm 0,11$
Karlas T. et al. [19]	Взрослые	$2,46 \pm 0,36$ м/с	$18,15 \pm 0,39$
Giuffrè M. et al. [24]	Взрослые	$18,14 \pm 3,08$ кПа	$18,14 \pm 3,08$

В литературе не удалось найти нормативных значений жесткости селезенки, полученных методом ТЭ, поскольку этот метод применяется для оценки жесткости органа у пациентов с миелофиброзом, циррозом печени и портальной гипертензией [7; 17].

Из таблиц 2, 3 следует, что значения жесткости селезенки у здоровых добровольцев составляют от 12 до 20,6 кПа (или от 2,00 до 2,62 м/с). Кроме того, обращает на себя внимание разница между нормативами жесткости селезенки – например, в таблице 3 значения жесткости, по данным А. Батур и соавторов, составляют $12,98 \pm 0,11$ кПа, а по данным Т. Карласа – $18,15 \pm 0,39$ кПа. При сравнении выборок пациентов заметно, что А. Батур и соавторы считали здоровыми пациентов без заболеваний в анамнезе жизни, включая сахарный диабет, гипертензию, употребление алкоголя, гепатиты и болезни системы крови. В исследовании Т. Карласа исключались лишь болезни печени, а также пациенты со значениями жесткости печени более 7,9 кПа по ТЭ и более 1,34 м/с по ARFI [8; 19]. Таким образом, значения нормы, полученные в исследованиях, зависят от особенностей здоровья добровольцев, включенных в группу здоровых.

Исследования производителей показали, что разница в измерениях между разными аппаратами и разными исследователями может дости-



гать 12 % [25]. Большинство исследований показывают отсутствие корреляции между жесткостью селезенки и возрастом, полом, ростом, массой тела и ИМТ как у детей, так и у взрослых [12; 16; 24].

Причины повышения жесткости селезенки

После приема пищи жесткость селезенки повышается, что может приводить к вынесению ложного заключения о более высокой стадии фиброза. В исследовании Ф.Б. Палабийик и соавторов [12] новорожденные не принимали пищу 4 ч. В других исследованиях пациенты принимали пищу не менее чем за 6–8 ч до исследования [14; 16; 17]. По данным исследования М. Кьяргаард и соавторов, жесткость селезенки увеличивается после приема пищи на 17–19 %, поэтому рекомендуется проводить исследование жесткости печени и селезенки не менее чем через 3 ч после приема пищи [6].

Болезни, при которых повышается жесткость селезенки, можно условно разделить на три группы – инфекционные болезни (ВИЧ-инфекция, вирусные гепатиты), болезни системы крови, болезни печени и системы воротной вены (алкогольная болезнь печени, цирроз печени, портальная гипертензия) [5; 8; 10; 15]. Кроме того, жесткость селезенки повышается при болезнях накопления (deposition diseases, storage diseases).

При заболеваниях, вызывающих спленомегалию, паренхима селезенки заполняется разными клетками, соответственно, по-разному меняются и механические свойства паренхимы селезенки. А. Батур и соавторы исследовали, как меняется жесткость селезенки при заболеваниях различной этиологии. Выявлено, что при болезнях печени и системы воротной вены жесткость составляла $3,27 \pm 0,36$ м/с, при миелопролиферативных заболеваниях – $2,98 \pm 0,33$ м/с, при инфекционных болезнях – $2,44 \pm 0,21$ м/с. Таким образом, эластография может иметь значение при дифференциальной диагностике между тремя группами болезней, затрагивающих селезенку [8].

При заболеваниях печени в селезенке происходит гиперплазия ретикулярных элементов. При болезнях системы крови в паренхиме селезенки появляются очаги экстрамедуллярного кроветворения, фокусы лейкозной инфильтрации или инфильтрации лимфоцитами, возникает склероз и гемосидероз пульпы. При инфекционных заболеваниях в селезенке возникает гиперплазия лимфоидной и кроветворной тканей, увеличивается число лимфоцитов и нейтрофилов, появляются участки с некрозом микроорганизмов [26].

При инфекционных заболеваниях жесткость не очень сильно поднимается из-за разрушения клеток, вазодилатации и воспаления; при миелопролиферативных заболеваниях на первом плане стоит пролиферация клеток без их повреждения, поэтому жесткость выше, чем при инфекционной патологии; при заболеваниях печени и системы воротной вены на первом месте находится фиброз, он несколько ограничивает рост размеров селезенки, но при этом жесткость увеличивается [8].

Есть данные о том, что жесткость селезенки является более надежным параметром для диагностики портальной гипертензии, чем жесткость печени [27]. Данные по значениям жесткости селезенки при различных заболеваниях приведены в таблице 4.

Таблица 4

Значения жесткости селезенки при различной патологии

Автор	Патология	Значения жесткости	Значение жесткости в кПа
А. В. Ковалев и др. [4]	Железодефицитная анемия	$8,2 \pm 1,4$ кПа	$8,2 \pm 1,4$
А. В. Ковалев и др. [28]	Хроническая сердечная недостаточность 2Б-стадии, у части пациентов (40%) выявлены варикозно расширенные вены пищевода (ВРВП) 1-й степени (по данным фиброгастроуденоскопии – ФГДС)	$9,44 \pm 3,3$ кПа	$9,44 \pm 3,3$
А. В. Ковалев и др. [28]	Хронический алкогольный гепатит, тяжелая форма, отечно-асцитический вариант, ВРВП 1–2-й степени (по ФГДС)	$14,1 \pm 2,3$ кПа	$14,1 \pm 2,3$
Batur A. et al. [8]	Инфекционные болезни	$2,44 \pm 0,21$ м/с	$17,86 \pm 0,13$
А. В. Ковалев и др. [4]	Лимфома Ходжкина	$17,7 \pm 2,1$ кПа	$17,7 \pm 2,1$
Batur A. et al. [8]	Миелопролиферативные заболевания	$2,98 \pm 0,33$ м/с	$26,64 \pm 0,33$
Batur A. et al. [8]	Болезни печени и системы воротной вены	$3,27 \pm 0,36$ м/с	$32,08 \pm 0,39$
Webb M. et al. [7]	Миелофиброз (метод ЭСВ)	32,9 кПа	32,9
Webb M. et al., 2015 [7]	Миелофиброз (метод ТЭ)	41,3 кПа	41,3
Webb M. et al. [7]	Цирроз печени (метод ЭСВ)	40,5 кПа	40,5
Webb M. et al. [7]	Цирроз печени (метод ТЭ)	58,5 кПа	58,5
А. В. Ковалев и др. [4]	Гепатит В (с выраженным нарушением функций печени, портальной гипертензией и варикозным расширением вен пищевода)	$29,9 \pm 3,9$ кПа	$29,9 \pm 3,9$
Karagiannakis D.S. et al. [10]	Цирроз печени с ВРВП	$> 35,8$ кПа	$> 35,8$
Özkan M.B. et al. [18]	Портальная гипертензия (у детей)	3,14 м/с	29,58
Madhusudhan K.S. et al. [11]	Внепеченочная обструкция воротной вены	$44,92 \pm 12,35$ кПа	$44,92 \pm 12,35$
А. В. Ковалев и др. [28]	Выраженные нарушения функции печени, начальные проявления портальной гипертензии, ВРВП 2–3-й степени (по ФГДС)	$33,9 \pm 8,1$ кПа	$33,9 \pm 8,1$
А. В. Ковалев и др. [28]	Цирроз печени смешанного генеза (алкогольный и вирусный), класс В по шкале Чайлд – Пью, ВРВП 3-й степени (по ФГДС)	$47,9 \pm 5,1$ кПа	$47,9 \pm 5,1$



А. В. Ковалев и А. В. Борсуков приходят к выводу, что данные эластографии не исключают, а дополняют данные ФГДС, и ЭСВ может быть методом выбора при тяжелом состоянии пациента, когда провести ФГДС невозможно [28]. Сравнивая данные в таблицах 2, 3 и 4, мы приходим к выводу, что показатели жесткости селезенки достоверно не отличаются от нормальных при следующих патологиях — железодефицитной анемии, инфекционных болезнях, лимфоме Ходжкина, ВРВП 1-й и 2-й степеней. Значения жесткости селезенки значимо выше нормальных при циррозе печени, портальной гипертензии, ВРВП 3-й степени и обструкции воротной вены.

Выводы

101

1. Согласно данным литературы, исследование жесткости селезенки чаще всего проводится методами ЭСВ и ARFI. Обычно исследование проводится при расположении пациента лежа на спине или на правом боку с отведенной за голову левой рукой; рекомендуется проводить 10 измерений; измерения проводятся во время задержки дыхания после спокойного выдоха; проводится от 3 до 10 измерений.

2. Значения жесткости селезенки у здоровых добровольцев составляют от 12 до 20,6 кПа (или от 2,00 до 2,62 м/с) — разброс этих значений зависит от дизайна исследования и от того, какие заболевания исключали добровольцев из группы контроля. Необходимо обсуждение результатов разных исследований для выработки консенсуса по стандартизации методики и нормативным значениям жесткости селезенки.

3. Показатели жесткости селезенки достоверно не отличаются от нормальных при следующих патологиях — железодефицитной анемии, инфекционных болезнях, лимфоме Ходжкина, ВРВП 1-й и 2-й степеней. Значения жесткости селезенки значимо выше нормальных при циррозе печени, портальной гипертензии, ВРВП 3-й степени и обструкции воротной вены.

Список литературы

1. Волкова С. А., Борсков Н. Н. Основы клинической гематологии : учеб. пособие. Н. Новгород, 2013.
2. Dietrich C. F., Barr R. G., Farrokh A. et al. Strain Elastography – How To Do It? // *Ultrasound Int Open*. 2017. Vol. 3, №4. P. 137–149.
3. Dietrich C. F., Sirlin R., Ferraioli G. et al. Current Knowledge in Ultrasound-Based Liver Elastography of Pediatric Patients // *Appl. Sci*. 2018. №8. P. 944–965.
4. Ковалев А. В., Борсуков А. В. Возможности усовершенствованной методики эластографии сдвиговых волн селезенки в многопрофильном стационаре // *Ученые записки Орловского государственного университета*. 2015. Т. 4, №67. С. 325–329.
5. Морозова Т. Г. Клинические перспективы транзиторной эластометрии печени и селезенки у больных алкогольной болезнью печени // *Медицинская визуализация*. 2013. №3. С. 74–85.
6. 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. Vol. 12, №4. e0173992.



7. Webb M., Shibolet O., Halpern Z. et al. Assessment of Liver and Spleen Stiffness in Patients With Myelofibrosis Using FibroScan and Shear Wave Elastography // *Ultrasound Quarterly*. 2015. Vol. 31, №3. P. 166–169.

8. Batur A., Alagoz S., Durmaz F. et al. Measurement of Spleen Stiffness by Shear-Wave Elastography for Prediction of Splenomegaly Etiology // *Ultrasound Quarterly*. 2019. Vol. 35, №2. P. 153–156.

9. Leea M.-J., Kima M.-J., Hanb K.H. et al. Age-related changes in liver, kidney, and spleen stiffness in healthy children measured with acoustic radiation force impulse imaging // *European Journal of Radiology*. 2013. Vol. 82, №6. P. e290–e294.

10. Karagiannakis D.S., 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 // *Digestive Diseases and Sciences*. 2019. Vol. 64, №9. P. 2653–2660.

11. Madhusudhan K.S., Kilambi R., Shalimar et al. Measurement of Splenic Stiffness by 2D-shear Wave Elastography in Patients With Extrahepatic Portal Vein Obstruction // *British Journal of Radiology*. 2018. Vol. 92, №1092. 20180401.

12. Palabiyik F.B., Inci E., Turkay R. et al. Evaluation of Liver, Kidney, and Spleen Elasticity in Healthy Newborns and Infants Using Shear Wave Elastography // *J Ultrasound Med*. 2017. Vol. 36, №10. P. 2039–2045.

13. 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 // *British Journal of Radiology*. 2016. Vol. 89, №1066. 20160423.

14. Cho Y.S., Lim S., Kim Y. et al. Spleen Stiffness Measurement Using 2-Dimensional Shear Wave Elastography // *J Ultrasound Med*. 2019. Vol. 38, №2. P. 423–431.

15. Çalışkan E., Atay G., Kara M. et al. Comparative evaluation of liver, spleen, and kidney stiffness in HIV-monoinfected pediatric patients via shear wave elastography // *Turk J Med Sci*. 2019. Vol. 49, №3. P. 899–906.

16. 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*. 2019. Vol. 46, №2. P. 195–199.

17. Elkrief L., Rautou P.-E., 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. Vol. 275, №2. P. 589–598.

18. Özkan M.B., Bilgicib M.C., Erenc E. et al. Diagnostic accuracy of point shear wave elastography in the detection of portal hypertension in pediatric patients // *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2018. Vol. 99, №3. P. 151–156.

19. Karlas T., Lindner F., Tröltzsch M. et al. Assessment of spleen stiffness using acoustic radiation force impulse imaging (ARFI): definition of examination standards and impact of breathing maneuvers // *Ultraschall Med*. 2014. Vol. 35, №1. P. 38–43.

20. Ferraioli G., Tinelli C., Lissandrin R. et al. Ultrasound point shear wave elastography assessment of liver and spleen stiffness: effect of training on repeatability of measurements // *Eur Radiol*. 2014. Vol. 24, №6. P. 1283–1289.

21. Procopet B., Berzigotti A., Abraldes J.G. et al. Real-time Shear-Wave Elastography: Applicability, Reliability and Accuracy for Clinically Significant Portal Hypertension // *J Hepatol*. 2015. Vol. 62, №5. P. 1068–1075.

22. Chang S., Kim M.J., Kim J. et al. Variability of shear wave velocity using different frequencies in acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography: a phantom and normal liver study // *Ultraschall in Med*. 2013. Vol. 34, №3. P. 260–265.

23. 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. Vol. 45, №9. P. 1316–1322.



24. Giuffrèa M., Macora D., Masuttib F. et al. Evaluation of spleen stiffness in healthy volunteers using point shear wave elastography // *Annals of Hepatology*. 2019. Vol. 38, №5. P. 736–741.

25. Hall T. J., Milkowski A., Garra B. et al. RSNA/QIBA: shear wave speed as a biomarker for liver fibrosis staging // *IEEE international Ultrasonics Symposium*. 2013.

26. Струков А. И., Серов В. В. Патологическая анатомия : учебник. М., 2012.

27. Colecchia A., Montrone L., Scafoli E. et al. Measurement of spleen stiffness to evaluate portal hypertension and the presence of esophageal varices in patients with HCV-related cirrhosis // *Gastroenterology*. 2012. Vol. 143, №3. P. 646–654.

28. Ковалев А. В., Борсуков А. В. Эластометрия селезенки: новый признак оценки портальной гипертензии // *Лучевая диагностика и терапия*. 2017. Т. 2, №8. С. 77.

Об авторах

Сергей Викторович Морозов – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: sm9310@mail.ru

Владимир Александрович Изранов – д-р мед. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: Vlzranov@kantiana.ru

The authors

Sergey V. Morozov, PhD Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: sm9310@mail.ru

Prof. Vladimir A. Izranov, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: Vlzranov@kantiana.ru