

УДК 616.36-073.43-616.98-036.21

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>

ТОЧЕЧНАЯ ЭЛАСТОГРАФИЯ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ОЦЕНКЕ ОЧАГОВОЙ ПАТОЛОГИИ ПЕЧЕНИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹К. В. Козубова^{✉*}, ^{1,2}Е. А. Бусько[✉], ^{1,3}С. С. Багненко[✉], ¹П. В. Балахнин[✉], ¹А. С. Шмелев[✉], ²А. Б. Гончарова[✉],
^{1,3}Е. В. Костромина[✉], ^{1,2}Р. А. Кадырлеев[✉], ¹Э. С. Любимская[✉], ^{1,2}И. А. Буровик[✉]

¹Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Определение характера очаговой патологии печени представляет собой важный вопрос, особенно в онкологической практике. Методы визуализации с внутривенным болюсным контрастным усилением являются основными способами диагностики патологии гепатобилиарной зоны, однако существуют ограничения в применении компьютерной, магнитно-резонансной томографии, а также контрастно-усиленного ультразвукового исследования. В последние годы точечная эластография сдвиговых волн стала широко используемым методом в оценке изменений в печени, в частности для количественного определения диффузной патологии. Также в настоящее время активно ведутся научные исследования по определению пороговых значений жесткости различных образований печени.

ЦЕЛЬ: Определить возможность альтернативного способа дифференциальной диагностики солидных образований печени от псевдоочагового поражения с помощью методики точечной эластографии сдвиговой волной в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В исследование было включено 64 пациента с отягощенным онкоанамнезом. Во всех случаях проводилась компьютерная томография с контрастным усилением и мультипараметрическое ультразвуковое исследование с применением технологии точечной сдвиговой эластографии для оценки количественных показателей жесткости очага в нецирротической печени. Оценивалась минимальная, средняя и максимальная жесткость образования, выраженная в м/с по результатам 10 измерений. Полученные результаты сравнивали с принятыми нормативами жесткости паренхимы печени для оценки диффузных изменений, рекомендованной EFSUMB.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В соответствии с данными окончательного клинического диагноза, в исследования вошли следующие ОПП: гемангиома (n=16; 25,0%), участок фокального стеатоза (n=19; 29,7%), метастазы (n=29; 45,3%). Нами оценивались три подгруппы значений: минимальное значение жесткости в очаге, максимальное и среднее. Наиболее важным параметром, использующийся для дальнейшей интерпретации данных — среднее значение жесткости по результатам всех измерений. При оценке этого показателя для гемангиомы медиана равнялась 1,63 м/с, стандартное отклонение составило 0,36, размах — 1,02 м/с. Для данных очаговых изменений 25-й перцентиль равен 1,47 м/с, 75-й перцентиль — 2,01 м/с. Для метастатического поражения медиана составила 1,83 м/с. При определении стандартного отклонения данный показатель составил 0,34 м/с, размах — 1,58 м/с. Также значения 25-го перцентиля равнялись 1,68 м/с, а 75-го — 2,08 м/с. При анализе данных показателей жесткости в очагах фокального стеатоза получены следующие значения: медиана — 1,09 м/с; размах — 0,21 м/с и стандартное отклонение — 0,06 м/с. Значения 25-го перцентиля составляли 1,025 м/с, 75-го — 1,105 м/с.

ОБСУЖДЕНИЕ: Исходя из представленных данных, истинные солидные очаги, такие как гемангиома и метастаз, имели значимо высокие показатели жесткости в сравнении с неизменной паренхимой печени. Полученные нами результаты близки со значениями, описанными в ряде крупных исследований, однако на данный момент не существует единого консенсуса относительно пороговых величин, а также методологии выполнения исследования и определения зоны для оценки жесткости в очаге, что делает данную методику перспективной для дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Выполнение мультипараметрического ультразвукового исследования с применением методики точечной эластографии сдвиговых волн в оценке количественных показателей жесткости в очаге позволяет выявить изменения в печени на этапе скрининга, вести постоянное неинвазивное наблюдение за онкологическими больными, определить дальнейшую тактику ведения больного. Данная методика является перспективной, легкодоступным, экономичным и, главное, бездозовым диагностическим инструментом для обнаружения и характеристики поражения печени, позволяет сократить время дифференциальной диагностики на первичном этапе, снизить затраты на дальнейшие исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очаговое поражение печени, метастаз, гемангиома, фокальный стеатоз, ультразвуковое исследование, точечная эластография сдвиговых волн

* Для корреспонденции: Козубова Ксения Вячеславовна, e-mail: dr.kozubova@yandex.ru.

Для цитирования: Козубова К.В., Бусько Е.А., Бажненко С.С., Балахнин П.В., Шмелев А.С., Гончарова А.Б., Костромина Е.В., Кадырлеев Р.А., Любимская Э.С., Буровик И.А. Точечная эластография сдвиговых волн в оценке очаговой патологии печени: проспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 2. С. 65–76, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>.

ACOUSTIC RADIATION FORCE IMPULSE ELASTOGRAPHY IN THE EVALUATION OF FOCAL LIVER PATHOLOGY: A PROSPECTIVE STUDY

¹Ksenia V. Kozubova^{*}, ^{1,2}Ekaterina A. Busko[®], ^{1,3}Sergey S. Bagnenko[®], ¹Pavel V. Balakhnin[®],
¹Alexey S. Shmelev[®], ²Anastasia B. Goncharova[®], ^{1,3}Ekaterina V. Kostromina[®], ^{1,2}Roman A. Kadyrleev[®],
¹Elvira S. Lyubinskaya[®], ¹Ilya A. Burovick[®]

¹Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

³St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Determining the nature of focal liver pathology is an important issue, especially in oncological practice. Imaging methods with contrast enhancement are the main methods for diagnosing pathology of the hepatobiliary tract, however, there are limitations in the use of computed tomography, magnetic resonance imaging, and contrast-enhanced ultrasound. In recent years, acoustic radiation force impulse elastography has become a widely used method in assessing changes in the liver. This technique has been successfully used to quantify diffuse disease in the liver, and scientific research is currently being actively conducted to determine the threshold values of the stiffness of various liver lesions.

OBJECTIVE: To determine the possibility of an alternative method for differential diagnosis of solid liver lesions from pseudofocal lesions using the acoustic radiation force impulse elastography technique in the context of multiparametric ultrasound examination.

MATERIALS AND METHODS: The study included 64 patients with a history of cancer. In all cases, contrast-enhanced computed tomography and multiparametric ultrasound using acoustic radiation force impulse elastography technology were performed to assess quantitative indicators of lesion stiffness in the non-cirrhotic liver. The minimum, average and maximum stiffness of the lesion was assessed, expressed in m/s based on the results of 10 measurements. The results obtained were compared with accepted standards for the stiffness of the liver parenchyma for assessing diffuse changes, recommended by EFSUMB.

RESULTS: In accordance with the final clinical diagnosis, the studies included focal liver lesions: hemangioma (n=16; 25.0%), focal steatosis (n=19; 29.7%), metastases (n=29; 45.3%). We assessed three subgroups of values: the minimum value, the maximum and the average. The most important parameter used for further interpretation of the data is the average stiffness value based on the results of all measurements. When assessing this indicator for hemangioma, the median was 1.63 m/s, the standard deviation was 0.36, and the range was 1.02 m/s. For these focal lesions the 25th percentile is 1.47 m/s, the 75th percentile is 2.01 m/s. For metastatic lesions, the median was 1.83 m/s. When determining the standard deviation, this indicator was 0.34 m/s, and the range was 1.58 m/s. Also, the values of the 25th percentile were 1.68 m/s, and the 75th were 2.08 m/s. When analyzing these indicators of stiffness in focal steatosis, the following values were obtained: median — 1.09 m/s; range — 0.21 m/s and standard deviation — 0.06 m/s. The 25th percentile values were 1.025 m/s, the 75th percentile — 1.105 m/s.

DISCUSSION: Based on the presented data, solid lesions, such as hemangioma and metastasis, had significantly high stiffness values in comparison with unchanged liver parenchyma. Our results are close to the values described in a number of large studies, but at the moment there is no consensus regarding the threshold values, as well as the methodology for performing the study and determining the zone for assessing stiffness in the lesion, which makes this technique promising for further study.

CONCLUSION: Performing a multiparametric ultrasound examination using the technique of acoustic radiation force impulse elastography to assess quantitative indicators of stiffness in the lesion makes it possible to identify changes in the liver at the screening stage, conduct constant non-invasive monitoring of cancer patients, and determine further tactics for patient management. This technique is a promising, easily accessible, economical and, most importantly, dose-free diagnostic tool for detecting and characterizing liver lesion, allowing to reduce the time of differential diagnosis at the initial stage and reduce the costs of further research.

KEYWORDS: focal liver lesion, metastasis, hemangioma, focal steatosis, ultrasound, acoustic radiation force impulse elastography

* For correspondence: Ksenia V. Kozubova, e-mail: dr.kozubova@yandex.ru.

For citation: Kozubova K.V., Busko E.A., Bagnenko S.S., Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Goncharova A.B., Kostromina E.V., Kadyrleev R.A., Lyubinskaya E.S., Burovick I.A. Acoustic radiation force impulse elastography in the evaluation of focal liver pathology: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 65–76, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>.

Введение. Очаговые поражения печени (ОПП) являются достаточно распространенной патологией и включают в себя гетерогенную группу новообразований как доброкачественного, так и злокачественного генеза. Согласно клиническим рекомендациям Американского общества гастроэнтерологов, «ОПП — это солидные или кистозные образования, или участки печеночной паренхимы, имеющие строение, отличное от здоровой ткани печени». Представленное определение включает достаточно обширный диапазон ОПП, которые могут иметь различный генез, как неопластический, так и воспалительный [1, 2].

Согласно данным литературы частота выявления ОПП в общей популяции достигает 33%, а при проведении посмертного патологоанатомического исследования превышает 50% [3]. Особое внимание стоит уделить пациентам с онкологическим заболеванием в анамнезе, поскольку метастатическое поражение является наиболее распространенным злокачественным поражением печени и составляет до 30% всех опухолевых изменений в рассматриваемом паренхиматозном органе [4]. Отметим, что доброкачественные очаги в данной когорте пациентов встречаются с той же частотой, что и у здорового населения, поэтому важно разработать грамотный алгоритм наблюдения для выявления и оценки изменений в гепатобилиарной зоне, поскольку точный диагноз дает возможность оптимизировать алгоритм наблюдения и лечения, а в некоторых случаях позволяет избежать необходимости проведения интервенционных вмешательств [5, 6].

Методы визуализации с применением контрастного усиления (компьютерная, магнитно-резонансная томография) на протяжении длительного времени зарекомендовали себя как высокоэффективные технологии в дифференциальной диагностике ОПП [7]. Заявленные методики позволяют оценить как локализацию и количество очагов в печени, так и ангиоархитектонику в зоне интереса, а также отношение патологического процесса к крупным печеночным сосудам и прилежащим анатомическим структурам [8, 9].

Помимо значимых преимуществ, также существует и ряд противопоказаний к выполнению данных исследований, в частности аллергия на контрастные препараты, а также лучевая нагрузка на организм, невозможность выполнения у пациентов с хроническими заболеваниями почек в стадии декомпенсации при компьютерной томографии и наличие кардиостимуляторов и металлоконструкций в организме, выраженные неврологические нарушения при проведении магнитно-резонансной томографии [10, 11].

Контрастно-усиленное ультразвуковое исследование зарекомендовало себя как надежный инструмент в выявлении и дифференциальной диагностике ОПП с высокой диагностической эффективностью, но в настоящее время применение данной технологии ограничено [12, 13].

Поиск альтернативных вариантов привел к изучению использования эластографии сдвиговых волн в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования очаговых образований печени [14]. Данная методика позволяет оценить количественные значения жесткости в зоне интереса и сопоставить с интактной паренхимой, что может являться диагностически значимым инструментом в диагностике ОПП и позволяет грамотно выстроить алгоритм дальнейшего ведения пациентов с обоснованием назначения дополнительных методов визуализации при необходимости [15, 16]. В обновлении к рекомендациям по ультразвуковой эластографии печени высказано предположение, что данная технология может быть дополняющим критерием в оценке очаговой патологии, например, при фокально-нодулярной гиперплазии по сравнению с аденомой печени или в случае гепатоцеллюлярного рака, но в настоящий момент эластография не рекомендована как основной метод именно при диагностике очагов, поскольку как доброкачественные, так и злокачественные очаги могут иметь разную жесткость относительно паренхимы печени. Необходимо также учитывать, что у пациента могут присутствовать фиброзные изменения различной степени выраженности, что также может влиять на диагностику [17].

Экспертами в области гепатологии (G. Ferraioli и соавт.) в 2022 г. был выпущен обзор, представляющий собой обобщенную информацию по оценке печени при использовании эластографии сдвиговых волн. Экстраполируя информацию из обзора и принимая во внимание все общие указания по проведению процедуры, также важно сделать вывод о пороговых значениях жесткости нормальной паренхимы печени — <5 кПа (1,3 м/с). Данный показатель крайне важен не только с целью исключения фиброзных изменений, но также и для анализа количественных значений жесткости очага по отношению к неизмененной ткани печени [18, 19].

Если говорить об отечественных научных работах, С. Н. Берников и соавт. опубликовали исследование, где сравнивали различные типы эластографии в контексте дифференциальной диагностики гемангиом от метастатического поражения печени при колоректальном раке. Помимо определения цветовой кодировки очагов, исследователями были определены пороговое значение, позволяющее дифференцировать гемангиомы от гиперэхогенных метастазов колоректального рака, что может являться полезным инструментом в практической деятельности [20].

Также много научных работ опубликовано А. В. Борсуковым и соавт., где детально приведены правила проведения эластографии, включая очаговые изменения печени, описана методология исследования и приведены аппаратно- и операторозависимые факторы, что необходимо учитывать при трактовке полученных измерений и аналитически подходить к вопросу о корректности выполнения

измерений и необходимости включения полученных значений в протокол сканирования [15, 21].

Однако, принимая во внимание накопленный отечественный и зарубежный опыт применения точечной эластографии сдвиговых волн в оценке очаговой патологии печени, вопрос о возможностях данной методики с целью постановки правильного диагноза и минимизации выполнения альтернативных методов исследования остается открытым.

Цель. Определить возможность альтернативного способа дифференциальной диагностики солидных образований печени от псевдоочагового поражения с помощью методики точечной эластографии сдвиговой волной в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования

Материалы и методы. Исследование одобрено этическим комитетом федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 17 от 28.10.2021). Информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование проводилось на отделении лучевой диагностики на базе научно-исследовательского института. В исследование было включено 64 пациента, имеющих отягощенный онкоанамнез, из них 22 мужчины (средний возраст $54,6 \pm 8,6$ года) и 42 женщины (средний возраст $51 \pm 6,4$ года).

Основными требованиями включения в исследование являлась четкая визуализация очаговых изменений в паренхиме печени при нативном ультразвуковом исследовании и размер зоны интереса более 1 см в диаметре. Ультразвуковое исследование выполнялось натощак (не менее 6 часов голода) на аппаратах экспертного класса с поддержкой режима точечной эластографии сдвиговых волн — ARFI (англ. Acoustic Radiation Force Impulse). УЗИ проводилось с применением конвексного датчика с частотой 2–8 МГц. После визуализации таргетной зоны в серошкальном режиме активировался режим точечной эластографии сдвиговой волны. Интересующий участок должен визуализироваться на экране монитора, без артефактов от прилежащих газовых и костных структур. Значение контрольного окна ставилось минимальное ($1 \times 0,5$ см) соответственно, зона интереса располагалась в центральной части очагового образования при размерах от 10 до 15 мм и в периферической части при размерах очага более 16 мм для нивелирования ложных значений при центрально расположенной зоне фиброза или некроза. Проводилось не менее 10 измерений в зоне интереса для получения надежных показателей, затем проводилось эквивалентное количество вычислений в интактной паренхиме печени для исключения диффузных изменений по типу фиброза. В исследование не вошли пациенты, у которых не удалось получить оптимальное изображение ОПП

в серошкальном режиме при выполнении ультразвукового исследования. Также в выборку не включались исследования, тесно сопряженные с пациентозависимыми факторами (лабораторно подтвержденный синдром цитолиза, напряженный асцит, подтвержденные фиброзные изменения в печени) и аппаратозависимыми ограничениями (ожирение III степени у пациента, кожные дефекты воспалительного и послеоперационного характера) [15, 18, 22].

В качестве референсных интервалов были взяты за основу пороговые значения для определения диффузных изменений печени, рекомендованные Европейской федерацией общества ультразвука в медицине и биологии (EFSUMB) [18]. Нормальные показатели жесткости для большинства ультразвуковых аппаратов стратифицированы и количественно соответствуют стадии фиброза по системе METAVIR, применимой для оценки фиброзных изменений в исследуемом органе.

Все ультразвуковые исследования проводились врачами ультразвуковой диагностики ($n=4$), имеющими непрерывный медицинский стаж по специальности от 3 лет, а также самостоятельно выполнявшими не менее 150 исследований по количественной оценке жесткости печеночной паренхимы для определения фиброзных изменений.

Также всем пациентам, включенным в исследование, в качестве референтного метода выполнялась компьютерная томография с контрастным усилением (КТ с КУ), поэтому пациенты с тяжелой соматической патологией и почечными заболеваниями в стадии декомпенсации, а также при наличии аллергических реакций на контрастные препараты в анамнезе также были исключены из выборки. КТ с КУ выполнялась на мультиспиральном многослойном 64- или 128-срезовом сканере с толщиной среза 1,5 мм. Исследование проводилось с внутривенным болюсным контрастным усилением неоинными йодсодержащими препаратами при помощи автоматического программируемого двухколбового инжектора в количестве, рекомендуемом фирмой-производителем, со скоростью введения 3–4 мл/с. КТ с КУ выполнялась по стандартной методике с получением артериальной и портальной фаз контрастирования (двухфазная КТ). При необходимости исследование дополнялось нативной и отсроченной фазой контрастирования.

При подозрении на метастатическое поражение ($n=30$) выполнялась трепан-биопсия очага в печени. Манипуляция осуществлялась при помощи УЗИ-наведения в стерильных условиях под местным обезболиванием с использованием автоматической биопсийной системы многократного использования Bard Magnum с применением иглы толщиной 16G. Для гистологического исследования бралось не менее двух полноценных столбиков ткани с последующей антисептической обработкой места манипуляции. Забранный материал помещался в 2% раствор формалина и транспортировался в патолого-

анатомическую лабораторию для дальнейшего исследования. После проведения инвазивной манипуляции пациент 2 часа находился под медицинским наблюдением. Каждые 30 минут выполнялось обзорное УЗИ брюшной полости с целью определения кровотечения.

При наличии доброкачественных паттернов контрастирования ($n=34$) по данным КТ пациенты находились на динамическом наблюдении в течение длительного временного промежутка (от 6 месяцев до 2 лет) с интервальным выполнением различных методов лучевой диагностики для контроля зоны интереса в печени: в первый год наблюдения контроль осуществлялся каждые 3 месяца, далее при отсутствии отрицательной динамики рекомендовался контроль каждые 6 месяцев.

По результатам окончательного клинического диагноза в исследование были включены очаги: гемангиома ($n=16$), метастаз ($n=29$), участки жирового гепатоза ($n=19$).

Результаты. Все количественные показатели в соответствии с рекомендациями EFSUMB измерялись в метрах/секунду (м/с) и заносились в единую сводную таблицу для удобства статистического анализа (табл. 1).

значение составило 1,14 м/с, максимальное — 1,98 м/с, медиана равнялась 1,31 м/с. Таким образом, стандартное отклонение составило 0,208, размах — 0,84 м/с. Для этих очаговых изменений 25-й процентиль равен 1,22 м/с, 75-й процентиль — 1,43 м/с.

Для метастатического поражения печени минимальное значение при исследуемом параметре составило 1,12 м/с, максимальное — 1,96 м/с, медиана — 1,31 м/с; стандартное отклонение равно 0,209 и размах — 0,84 м/с. При этих очагах 25-й и 75-й процентиля составили 1,26 м/с и 1,44 м/с соответственно.

В случае обнаружения участка фокального стеатоза, минимальное значение составило по результатам всех измерений составило 0,99 м/с, максимальное — 1,11 м/с, медиана — 0,99 м/с. Стандартное отклонение составило 0,091, размах — 0,12. Значения 25-го процентиля составили 0,917 м/с, 75-го процентиля — 1,04 м/с.

Обобщенные данные по исследуемому параметру представлены на рис. 1.

2. Следующим этапом оценивалось максимальное значение количественного показателя жесткости в зоне интереса.

Таблица 1
Обобщенные данные жесткости очаговых поражений печени при измерении минимального, максимального и среднего значения

Table 1
Generalized data on the stiffness of focal liver lesions when measuring the minimum, maximum and average values

Показатель	Очаговое поражение печени	Минимальное значение, м/с	Максимальное значение, м/с	Среднее значение, м/с
Медиана	Гемангиома	1,31	2,21	1,63
	Метастаз	1,31	2,49	1,83
	Очаговый стеатоз	0,99	1,16	1,09
Стандартное отклонение	Гемангиома	0,208	0,544	0,36
	Метастаз	0,209	0,514	0,33
	Очаговый стеатоз	0,091	0,044	0,057
Минимум	Гемангиома	1,14	1,48	1,32
	Метастаз	1,12	1,68	1,42
	Очаговый стеатоз	0,76	1,05	0,95
Максимум	Гемангиома	1,98	3,07	2,34
	Метастаз	1,96	3,43	3,0
	Очаговый стеатоз	1,11	1,21	1,04
25-й процентиль	Гемангиома	1,22	1,73	1,47
	Метастаз	1,26	1,98	1,68
	Очаговый стеатоз	0,92	1,12	1,03
50-й процентиль	Гемангиома	1,31	2,21	1,63
	Метастаз	1,31	2,49	1,83
	Очаговый стеатоз	0,99	1,16	1,09
75-й процентиль	Гемангиома	1,43	2,67	2,01
	Метастаз	1,44	2,82	2,07
	Очаговый стеатоз	1,04	1,17	1,11

Далее подробно проводился анализ статистических показателей каждой из групп.

1. Первым этапом изучалось наименьшее значение жесткости в ОПП. Для такого доброкачественного образования, как гемангиома, минимальное

Для солидного доброкачественного очага, такого как гемангиома, минимальным значением было 1,48 м/с, максимальным значением среди всех измерений являлось 3,07 м/с, медиана — 2,21 м/с. Размах в данной подгруппе составил 0,59 м/с, стандартное

отклонение — 0,544 м/с. 25-й процентиль имел значение 1,73 м/с, 75-й процентиль — 2,67 м/с.

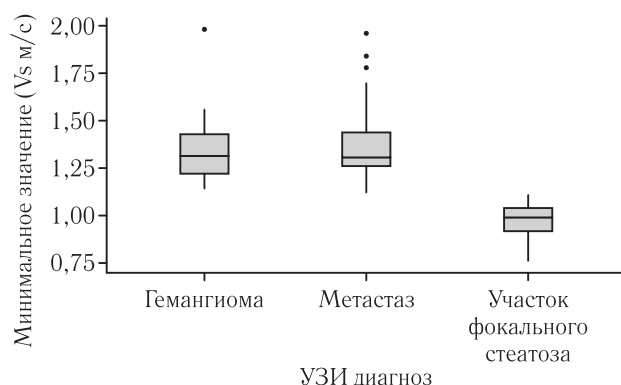


Рис. 1. Распределение минимальных значений жесткости (м/с) в измеряемых очагах в зависимости от нозологии очаговых поражений печени

Fig. 1. Distribution of minimum stiffness values (m/s) in measured lesions depending on the nosology of focal liver lesion

Для метастатического поражения минимальное значение составило 1,68 м/с, максимальное — 3,43 м/с, медиана — 2,49 м/с. Размах имел значение 0,74 м/с, а стандартное отклонение — 0,514 м/с. При данном типе очаговых изменений 25-й процентиль был равен 1,98, а 75-й — 2,82 м/с.

При определении аналогичных значений для участка фокального стеатоза были получены следующие данные: минимальное значение — 1,05 м/с, максимальное — 1,21 м/с, а медиана — 1,16 м/с. Размах имел количественное значение 0,16 м/с, а стандартное отклонение равнялось 0,44 м/с. Также значение 25-го процентиля составляло 1,12 м/с, а 75-го — 1,17 м/с.

Обобщенные данные по максимальному значению жесткости в очаге представлены на рис. 2.

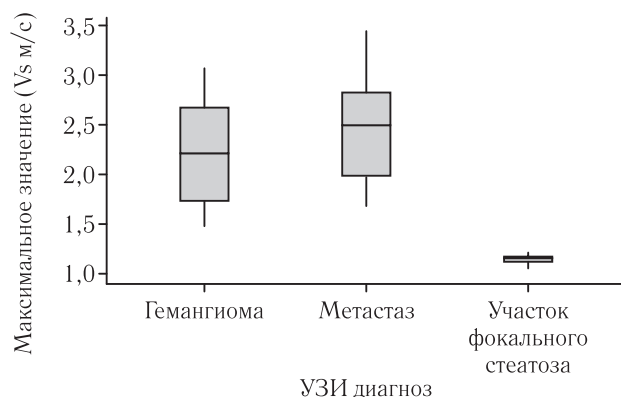


Рис. 2. Количественные значения максимального показателя жесткости в гемангиоме, метастатическом поражении и участке фокального стеатоза

Fig. 2. Quantitative values of the maximum stiffness index in hemangioma, metastatic lesion and focal steatosis

3. Завершающим этапом оценивался наиболее важный показатель, использующийся для дальней-

шей интерпретации данных — среднее значение жесткости очага по результатам всех измерений.

Для гемангиомы при анализе среднего значения всех измерений в очагах минимальное значение составило 1,3 м/с, максимальное — 2,34 м/с, медиана равнялась 1,63 м/с. Таким образом, стандартное отклонение составило 0,36, размах — 1,02 м/с. Для этих очаговых изменений 25-й процентиль равен 1,47 м/с, 75-й процентиль — 2,01 м/с.

Для метастатического поражения минимальным значением в данной подгруппе являлось 1,42 м/с, максимальным — 3 м/с, медиана — 1,83 м/с. При определении стандартного отклонения этот показатель составил 0,34 м/с, размах — 1,58 м/с. Значения 25-го процентиля равнялись 1,68 м/с, 75-го — 2,08 м/с.

При анализе данных показателей жесткости в очагах фокального стеатоза были получены следующие значения: минимальное — 0,95 м/с, максимальное — 1,6 м/с, медиана — 1,09 м/с; размах — 0,21 м/с и стандартное отклонение — 0,06 м/с. Значения 25-го процентиля составляли 1,025 м/с, 75-го — 1,105 м/с.

Для дальнейших исследований и применения анализируемых данных целесообразно ориентироваться на средний показатель в ОПП, поскольку минимальные и максимальные значения в очаге в зависимости от строения образования могут отличаться, так как измерения в зоне интереса проводятся в разных точках.

Обобщенные данные по результатам анализа очагов различной нозологии представлены на рис. 3.

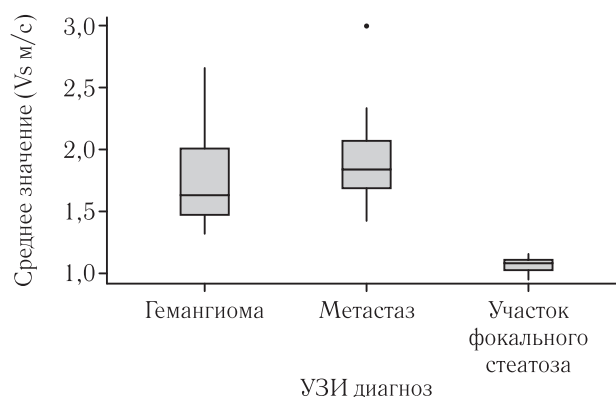


Рис. 3. Среднее значение показателя жесткости в сопоставлении с природой очага

Fig. 3. The average value of the stiffness index in comparison with the nature of the lesion

При сопоставлении полученных данных среднего значения жесткости по результатам 10 измерений с рекомендованными значениями для измерения диффузных изменений печени нами выявлены следующие закономерности (табл. 2).

Как видно из представленной таблицы, для солидных очагов, таких как гемангиома и метастаз, количественные значения жесткости в очаге были значи-

мо выше по сравнению с нормальными показателями при отсутствии диффузных изменений печени. При оценке параметров участка фокального стеатоза, показатели были сопоставимы с нормальными значениями жесткости в нецирротической печени,

Пример 2. Пациентка К., 69 лет. Основное заболевание: Рак молочной железы. Состояние после органосохраняющей операции, лучевой терапии от 2012 года, с последующей гормонотерапией тамоксифеном в течение 5 лет. По результатам контрольной компьютерной томографии органов брюш-

Таблица 2
Сопоставление полученных средних значений жесткости в очаге с рекомендованными значениями для диффузных заболеваний печени

Table 2

Comparison of the obtained average stiffness values in the lesion with the recommended values for diffuse liver diseases

Среднее значение жесткости в очаге	Гемангиома	Метастаз	Фокальный стеатоз
$M \pm \text{STD}$ (min; max)	$1,63 \pm 0,36$ (1,47; 2,01)	$1,83 \pm 0,33$ (1,68; 2,07)	$1,09 \pm 0,057$ (1,03; 1,11)
Значения для определения диффузных изменений печени в соответствии с рекомендациями EFSUMB			
Норма/клинически незначимый фиброз (F0/F1)	Клинически значимый фиброз (F2)	Выраженный фиброз (F3)	Цирроз (F4)
Менее 1,2 м/с	1,24 до 1,34 м/с	1,34–1,55 м/с	1,55–2,0 м/с

что говорит о псевдопоражении и позволяет исключить солидный компонент.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о значимой корреляции жесткости в истинных солидных ОПП и псевдоочаговом поражении печени.

Примеры, указанные ниже, подтверждают полученные нами выводы.

Пример 1. Пациентка Б., 46 лет. Основное заболевание: Са правой молочной железы (pT2N1M0), состояние после комплексного лечения от 2019 года, в настоящий момент получает гормонотерапию (тамоксифен). Пациентка находится на динамическом наблюдении в онкологическом центре. При УЗИ в правой доле печени визуализируется гиперэхогенное очаговое образование, размерами до 17 мм, с четкими неровными контурами. По результатам эластографии сдвиговых волн жесткость нормальной ткани печени без очаговых изменений в соответствии с клиническими рекомендациями равна нормальным показателям (F0/F1), что соответствует отсутствию фиброзных изменений. По результатам эластографии сдвиговых волн все значения измерений в очаге ($n=10$) значительно превышали нормальные показатели (рис. 4), среднее значение жесткости очага при 10 измерениях составило 1,47 м/с — данные значения выходят из референсного интервала, соответственно образование было расценено как солидное новообразование печени, высказано предположение о гемангиоме. Проведена компьютерная томография с контрастным усилением, где паттерны контрастирования очага соответствовали гемангиоме печени. По результатам наблюдения в динамике размеры очага в печени без изменений. Следовательно, с учетом мультимодальной визуализации данное образование в печени расценивается как гемангиома.

ной полости с внутривенным контрастным усилением 6 месяцев назад данных, свидетельствующих о метастазах, не получено, ультразвуковое исследование не проводилось. Настоящая цель обращения: плановое наблюдение в соответствии с рекомендациями онколога.

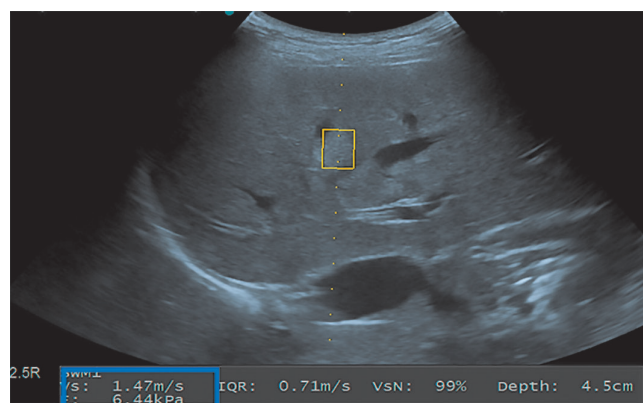


Рис. 4. Пример количественного измерения жесткости в очаге. При данном измерении жесткость в очаге составила 1,47 м/с (выделено синим), что соответствует показателям, превышающим нормальные значения жесткости нецирротической паренхимы печени

Fig 4. Example of quantitative measurement of stiffness in focal liver lesion. With this measurement, the stiffness was 1,47 m/s (highlighted in blue), which corresponds to values exceeding the normal values of stiffness of non-cirrhotic liver parenchyma

При контрольном УЗИ в В-режиме в правой доли печени, вблизи воротной вены, визуализируется гиперэхогенное очаговое образование, размерами 15×10 мм, с четкими неровными контурами. По результатам эластографии сдвиговых волн жесткость интактной ткани печени в соответствии с клиническими рекомендациями равна нормальным

показателям (1,12 м/с), то есть диффузные изменения по типу фиброза отсутствуют. При оценке визуализируемого очага в печени количественные показатели также соответствуют нормальным показателям жесткости (0,92 м/с), среднее значение жесткости очага при 10 измерениях составило 1,07 м/с — эти значения не выходят из референсного интервала нормальных показателей, соответственно данное образование было расценено как очаговый стеатоз печени. При контрольном исследовании через 3 месяца данные изменения без динамики, соответственно очаг в печени не является вторичным и не требует инвазивных вмешательств. По КТ, выполненной в динамике, зона интереса без измененных паттернов контрастирования при сравнении с окружающей паренхимой, что также трактуется в пользу отсутствия солидного очага.

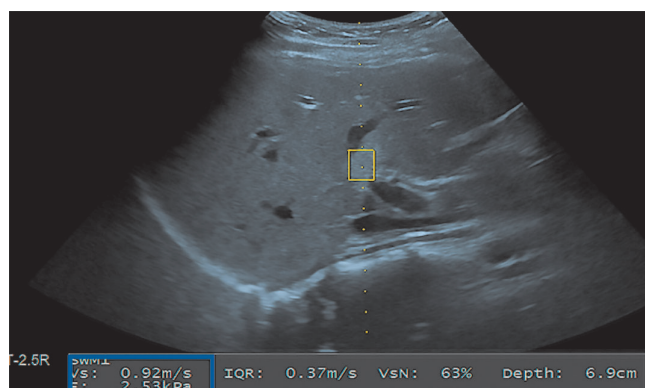


Рис. 5. Пример измерения жесткости в визуализируемом очаговом поражении печени. Полученное значение (выделено синим) равно 0,92 м/с, что коррелирует со значениями в неизменной паренхиме печени

Fig. 5. Example of stiffness measurement in a visualized focal liver lesion. The resulting value (highlighted in blue) is 0,92 m/s, which correlates with values in unchanged liver parenchyma

Обсуждение. Любое выявленное очаговое изменение в печени вызывает тревожность у пациентов, особенно если имеется отягощенный онкоanamнез. Целью нашего исследования являлось изучение жесткости истинных солидных очагов, в частности гемангиом и метастазов от псевдоопухолевого поражения печени в виде участков фокального стеатоза, что позволит снизить последующее назначение иных лучевых методик для дифференциальной диагностики ОПП. В ходе исследования нами были изучены результаты исследований 64 пациентов с отягощенным онкоanamнезом, у которых по результатам серошкального ультразвукового исследования в печени визуализировались очаговые изменения, диаметром более 10 мм. В качестве референтного метода всем исследуемым из данной выборки выполнялась КТ с КУ, при определении злокачественных паттернов контрастирования очагов выполнялась морфологическая верификация узла, при отсутствии данных, свидетельствующих о вторичных измене-

ниях, проводилось частое динамическое наблюдение различными методами визуализации через короткий промежуток: в первый год — каждые три месяца с дальнейшим увеличением интервала контрольных обследований через каждые 6 месяцев. В соответствии с данными окончательного клинического диагноза, в исследование вошли следующие ОПП: гемангиома (n=16; 25,0%), участок фокального стеатоза (n=19; 29,7%), метастазы (n=29; 45,3%).

Для гемангиомы были получены следующие значения:

- минимальное: $1,31 \pm 0,208$ м/с;
- максимальное: $2,21 \pm 0,514$ м/с;
- среднее: $1,63 \pm 0,36$ м/с.

При метастатическом поражении значения жесткости в очаге соответствовали следующим показателям:

- минимальное: $1,31 \pm 0,209$ м/с;
- максимальное: $2,49 \pm 0,514$ м/с;
- среднее: $1,83 \pm 0,33$ м/с.

Участок фокального стеатоза имел значения:

- минимальное: $0,99 \pm 0,091$ м/с;
- максимальное: $1,16 \pm 0,044$ м/с;
- среднее: $1,09 \pm 0,057$ м/с.

Исходя из представленных данных, истинные солидные очаги, такие как гемангиома и метастаз, имели значимо высокие показатели жесткости в сравнении с неизменной паренхимой печени. Принимая во внимание патоморфологическое строение вторичных очагов можно предположить, что повышенная жесткость при ультразвуковой эластографии является следствием десмопластической реакцией и фиброзными изменениями в зоне интереса. Высокие показатели жесткости для гемангиом, вероятно, обусловлены интранодулярным склерозом, тромбозом и обызвествлением сосудов внутри очага.

В нашем исследовании псевдоочаговые изменения в виде участков жирового гепатоза имели значения жесткости, равные таковым при отсутствии фиброза в нецирротической печени, что соответствует неповрежденным гепатоцитам или избыточному накоплению жиров в ткани печени без значимого изменения клеточной архитектоники.

Следует отметить, что в настоящее время не существует единых критериев оценки зоны интереса, в частности выбора зоны для определения наилучшей области проведения измерений, а также отсутствует консенсус относительно диагностического порогового значения различных ОПП.

Множество исследований противоречивы и не коррелируют между собой по выявленным пороговым значениями жесткости ОПП для каждой нозологии.

Полученные в нашем исследовании значения оказались меньше, чем по данным A. Gallotti (2012), где описываются средние значения для гемангиомы, равные $2,30 \pm 0,95$ м/с, и $2,87 \pm 1,13$ м/с для метастазов. Однако прослеживается единая тенденция:

в нашем исследовании и в ряде зарубежных гемангиомы и метастазы в контексте одного исследователя имели близкие значения по скорости распространения сдвиговой волны, что также прослеживается и в нашей работе. Выдвинутые предположения также подтверждаются данными из описанных выше источников, т.е. в исследовании не выявлено статистически значимой межоператорской оценки ($p > 0,05$).

Полученные нами данные близки к значениям, полученным в исследовании С. Goya и соавт. (2015), где указаны следующие показатели: средняя жесткость гемангиомы составила $1,45 \pm 0,45$ м/с, метастазов — $1,64 \pm 0,45$ м/с.

В крупных азиатских исследованиях также отмечены средние значения жесткости для гемангиомы ($1,69 \pm 0,89$ м/с; $1,57 \pm 0,55$ м/с), сопоставимые с полученным в нашем исследовании, однако для метастазов показатели были значимо выше, чем в нашей работе ($2,95 \pm 1,00$ м/с; $2,77 \pm 0,68$ м/с) [14, 16].

Объединял ряд исследований тот факт, что жесткость солидных очагов в печени достоверно отличается от показателей интактной паренхимы, что позволяет судить о наличии истинного поражения, в отличие от участков жирового гепатоза, которые трактуются как псевдоопухолевые изменения.

В ряде других исследований также встречается вариативный показатель жесткости очагов, что дает возможность предположить прямую связь между количеством очагов в выборке, размером, гетерогенной структуры очагов, а также можно предположить операторозависимость.

Лишь единичные исследования сравнивают значения в истинных солидных очагах и псевдоопухолевых изменениях. В одном из исследований, включающих в себя данные о показателях жесткости в участках фокального стеатоза, приводятся также повышенные значения: $1,71 \pm 0,65$ (диапазон 0,95–2,64) и $1,51 \pm 1,15$ (диапазон 0,81–4,33), однако и в интактной паренхиме наблюдались численно высокие показатели: $1,39 \pm 0,50$ (диапазон 0,78–2,13) и $1,26 \pm 0,34$ (диапазон 0,76–1,84) соответственно. Можно предположить, что большая вариативность числовых значений в ОПП зависит от производителя аппарата, поскольку существует разница между аппаратом и рекомендуемыми пороговыми значениями.

Предложенные нами количественные показатели жесткости в очагах позволяют рекомендовать данную методику как один из параметров оценки ОПП. В случае получения низких количественных значений, сопоставимых с неизменной паренхимой печени, возможно проведение повторного исследования или выполнение методики с использованием контрастного усиления в качестве уточняющего метода через короткий промежуток времени.

Высокие показатели жесткости в визуализируемых изменениях на эхограмме свидетельствуют

о наличии истинного солидного очага в печени, что позволяет направить пациента на дальнейшее дообследование референтным методом.

Наша работа показала многообещающие результаты, но нельзя не отметить, что требуется исследование на большей когорте пациентов с различными ОПП, а также с метастазами в печени при различных нозологиях первичного опухолевого очага.

Важным преимуществом данного метода, в отличие от контрастных методик, кроме оценки ОПП, является измерение интактной паренхимы печени для исключения фиброзных изменений как предиктора цирроза, даже на начальных этапах развития патологических изменений.

Также нельзя не отметить затруднения, с которыми может столкнуться исследователь. Первое и самое главное — это глубина залегания зоны интереса. Для получения наиболее достоверных количественных данных максимальная глубина не должна превышать 10 см от кожи во избежание затухания поперечной волны. Также точность измерений прямо пропорционально зависит от двигательных артефактов, поэтому оценка некоторых изменений в левой доле печени может быть затруднена в связи с артефактами от двигательной активности сердца. Ограничением в проведении исследования также может стать локализация очага в поддиафрагмальных отделах печени, в связи с чем могут возникнуть трудности при визуализации и получении корректных измерений.

Большинство исследований рассматривают применение данной методики в контексте дифференциальной диагностики первичного рака печени от иных ОПП, что диктует необходимость продолжения нашего исследования в рамках разработки методологии сканирования и определения пороговых значений для солидных очагов печени в нецирротической печени.

Заключение. Таким образом, включение в алгоритм мультипараметрического ультразвукового исследования режима точечной эластографии сдвиговой волны для оценки количественных значений жесткости очага позволяет отличить истинные солидные очаги в гепатобилиарной зоне от псевдоочагового поражения печени. Данная методика может предоставить дополнительную информацию о характере визуализируемого очагового поражения печени, но достоверно не позволяет проводить дифференциальную диагностику между истинными солидными очагами, поскольку значения жесткости не имеют значимых различий.

Исследуемая методика является перспективной для дальнейшего изучения жесткости очагов различного генеза, что способствует сокращению времени постановки диагноза на первичном этапе и обоснованному назначению дополнительных исследований при необходимости.

Сведения об авторах:

Козубова Ксения Вячеславовна — аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: dr.kozubova@yandex.ru; ORCID 0000-0001-9611-0439;

Бусько Екатерина Александровна — доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина», медицинский факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: katrn@mail.ru; ORCID 0000-0002-0940-6491;

Багненко Сергей Сергеевич — доктор медицинских наук, доцент, заведующий научным отделением — ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор кафедры лучевой диагностики и биомедицинской визуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; e-mail: bagnenko_ss@mail.ru; ORCID 0000-0002-4131-6293;

Балахнин Павел Васильевич — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: balahnin_p@mail.ru; ORCID 0000-0002-3042-6729;

Шмелев Алексей Станиславович — врач-хирург, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: shmel_1972@mail.ru; ORCID 0000-0002-1610-8820;

Гончарова Анастасия Борисовна — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой факультета прикладной математики — процессов управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: a.goncharova@spbu.ru; ORCID 0000-0002-7980-1657;

Костромина Екатерина Викторовна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; доцент кафедры лучевой диагностики и биомедицинской визуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; e-mail: terik-dog@mail.ru; ORCID 0000-0002-4245-687X;

Кадырлеев Роман Андреевич — кандидат медицинских наук, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ассистент Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина», медицинский факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: romankadyrleev@gmail.com; ORCID 0000-0001-6576-1087;

Любимская Эльвира Сергеевна — аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: elialiubimskaia@gmail.com; ORCID 0000-0002-2038-3964;

Буровик Илья Александрович — кандидат медицинских наук, заведующий отделением лучевой диагностики, научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ассистент кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: burovick_ilya@mail.ru; ORCID 0000-0002-4714-1228.

Information about the authors:

Ksenia V. Kozubova — Postgraduate Student, Ultrasound Diagnostician of Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: dr.kozubova@yandex.ru; ORCID 0000-0001-9611-0439;

Ekaterina A. Busko — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist of the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Professor to «Radiation diagnostics and nuclear medicine», Faculty of Medicine of St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9; e-mail: katrn@mail.ru; ORCID 0000-0002-0940-6491;

Sergey S. Bagnenko — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Scientific Department — Leading Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68;

Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging, FSBEI of HE St. Petersburg State Pediatric Medical University MoH of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, st. Litovskaya, 2; e-mail: bagenko_ss@mail.ru; ORCID 0000-0002-4131-6293;

Pavel V. Balahnin — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department — Doctor for Endovascular Diagnostics and Treatment of the Department of Radiology Surgical Methods of Diagnostics and Treatment, Senior Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: balahnin_p@mail.ru; ORCID 0000-0002-3042-6729;

Alexey S. Shmelev — surgeon, Doctor for Endovascular Diagnostics and Treatment of the Department of Radiology Surgical Methods of Diagnostics and Treatment of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: shmel_1972@mail.ru; ORCID 0000-0002-1610-8820;

Anastasia B. Goncharova — Cand. of Sci. (Phy. and Math.), senior lecturer at the Department of Theory of Control Systems for Electrophysical Equipment, Faculty of Applied Mathematics — Control Processes, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: a.goncharova@spbu.ru; ORCID 0000-0002-7980-1657;

Ekaterina V. Kostromina — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher at the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist at the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging, FSBEI of HE St. Petersburg State Pediatric Medical University MoH of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, st. Litovskaya, 2; e-mail: terik-dog@mail.ru; ORCID 0000-0002-4245-687X;

Roman A. Kadyrleev — Cand. of Sci. (Med.), Ultrasound Diagnostician of the Department of Radiation Diagnostics of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; assistant to «Radiation diagnostics and nuclear medicine», Faculty of Medicine, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: romankadyrleev@gmail.com; ORCID 0000-0001-6576-1087;

Elvira S. Lyubimskaya — Postgraduate Student, Ultrasound Diagnostician of Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: elialiubimskaia@gmail.com; ORCID 0000-0002-2038-3964;

Ilya A. Burovik — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics, Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist of the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Assistant of Department of Oncology, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: burovick_ilya@mail.ru; ORCID 0000-0002-4714-1228.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *К. В. Козубова, Е. А. Бусько*; сбор и математический анализ данных — *К. В. Козубова, Е. А. Бусько, П. В. Балахнин, А. С. Шмелев, А. Б. Гончарова, Е. В. Костромина, Р. А. Кадырлеев, Э. С. Любимская, И. А. Буровик*; подготовка рукописи — *К. В. Козубова, Е. А. Бусько, С. С. Багненко*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *KVK, EAB* aided in the concept and plan of the study; *KVK, EAB, PVB, ASSh, ABG, EVK, KRA, ESL, IAB* provided collection and mathematical analysis of data, *KVK, EAB, SSB* — preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики. Исследование одобрено этическим комитетом федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 17 от 28.10.2021). Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards. The study was approved by the local ethics committee Federal State Budgetary Institute N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology Ministry of Health of the Russian Federation (protocol No. 17 от 28.10.2021). Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 30.12.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Поникаровских А.С. Оперативное лечение больных с доброкачественными очаговыми образованиями печени // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2022. № 8. С. 224–227. [Ponikarovskikh A.S. Surgical treatment of patients with benign focal formations of the liver. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*, 2022, No. 8, pp. 224–227 (In Russ.)]. doi: 10.37882/2223-2966.2022.08.32.
2. Marrero J.A., Ahn J., Reddy R.K. ACG clinical guideline: the diagnosis and management of focal liver lesions // *Official journal of the American College of Gastroenterology* | *ACG*. 2014. Vol. 109, No. 9. P. 1328–1347. doi: 10.1038/ajg.2014.213.
3. Algarni A.A., Alshuhri A.H., Alonazi M.M. et al. Focal liver lesions found incidentally // *World journal of hepatology*. 2016. Vol. 8, No. 9. P. 446.
4. Катрич А.Н., Польшиков С.В. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование в диагностике новообразований печени // *Инновационная медицина Кубани*. 2021. № 1 (21). С. 72–78. [Katrich A.N., Polshikov S.V. Multiparametric ultrasound in the diagnosis of liver tumors. *Innovative medicine of Kuban*, 2021, No. 1 (21), pp. 72–78 (In Russ.)]. doi: 10.35401/2500-0268-2021-21-1-72-78.
5. Husainy M.A., Sayyed F., Peddu P. Typical and atypical benign liver lesions: A review // *Clinical Imaging*. 2017. Vol. 44. P. 79–91. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.05.002.

6. Reizine E., Mulé S., Luciani A. Focal Benign Liver Lesions and Their Diagnostic Pitfalls // *Radiologic Clinics*. 2022. Vol. 60, No. 5. P. 755–773. doi: 10.1016/j.rcl.2022.05.005.
7. Federica V., Cannella R., Bartolotta T.V. et al. Advances in liver US, CT, and MRI: moving toward the future // *European Radiology Experimental*. 2021. Vol. 5, No. 1. P. 52. doi: 10.1186/s41747-021-00250-0.
8. Багненко С.С., Труфанов Г.Е., Железняк И.С. Магнитно-резонансная томография в диагностике очаговых поражений печени // *Анналы хирургической гепатологии*. 2016. Т. 21, № 3. С. 64–69. [Bagnenko S.S., Trufanov G.E., Zheleznyak I.S. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of focal liver lesions. *Annals of surgical hepatology*, 2016, Vol. 21, No. 3. pp. 64–69 (In Russ.)].
9. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Природа и перфузионная динамика перитуморального кольцевого контрастирования мелких (5–9 мм) и очень мелких (<5 мм) гиповаскулярных метастазов в печени: Анализ данных динамической КТ-артериогепатикографии // *Практическая онкология*. 2017. Т. 18, № S1. С. 58–78. [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Nature and perfusion dynamics of peritumoral ring contrast of small (5–9 mm) and very small (<5 mm) hypovascular metastases in the liver: Analysis of dynamic CT arteriohepaticography data. *Practical Oncology*, 2017, Vol. 18, No. S1, pp. 58–78 (In Russ.)].
10. Costelloe C.M., Amini B., Madewell J.E. Risks and benefits of gadolinium-based contrast-enhanced MRI // *Seminars in Ultrasound, CT and MRI — WB Saunders*. 2020. Vol. 41, No. 2. P. 170–182. doi: 10.1053/j.sult.2019.12.005.
11. Rudnick M.R., Leonberg-Yoo A.K., Litt H.I. et al. The controversy of contrast-induced nephropathy with intravenous contrast: what is the risk? // *American Journal of Kidney Diseases*. 2020. Vol. 75, No. 1. P. 105–113. doi: 10.1053/j.ajkd.2019.05.022.
12. Dietrich C.F., Nolsøe C.P., Barr R.G. et al. Guidelines and good clinical practice recommendations for contrast enhanced ultrasound (CEUS) in the liver-update 2020-WFUMB in cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS // *Ultraschall in der Medizin-European Journal of Ultrasound*. 2020. Vol. 41, No. 05. P. 562–585. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.030.
13. Козубова К.В., Бусько Е.А., Багненко С.С. и др. Сравнительный анализ эффективности ультразвукового исследования с контрастным усилением и компьютерной томографии в дифференциальной диагностике очагового поражения печени у пациентов с отягощенным онкологическим анамнезом // *Вопросы онкологии*. 2023. Т. 69, № 5. С. 897–907. [Kozubova K.V., Busko E.A., Bagnenko S.S. et al. Comparative analysis of the effectiveness of contrast-enhanced ultrasound and computed tomography in the differential diagnosis of focal liver lesions in patients with a family history of cancer. *Voprosy onkologii*, 2023, Vol. 69, No. 5, pp. 897–907 (In Russ.)]. doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-5-897-907.
14. Guo L.H., Wang S.J., Xu H.X. et al. Differentiation of benign and malignant focal liver lesions: value of virtual touch tissue quantification of acoustic radiation force impulse elastography // *Medical oncology*. 2015. Vol. 32. P. 1–10. doi: 10.1007/s12032-015-0543-9.
15. Борсуков А.В., Морозова Т.Г., Мамошин А.В. и др. Мультипараметрическая эластография печени: современные перспективы в алгоритме диагностики диффузных заболеваний печени // *Вестник новых медицинских технологий*. 2019. № 2. С. 69–81. [Borsukov A.V., Morozova T.G., Mamoshin A.V. et al. Liver multiparametrical elastography: future perspectives in the diagnostic procedure of diffuse liver diseases. *Journal of New Medical Technologies*, 2019, Vol.2, pp. 69–81 (In Russ.)]. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16364.
16. Nagolu H., Kattoju S., Natesan C. et al. Role of acoustic radiation force impulse elastography in the characterization of focal solid hepatic lesions // *Journal of Clinical Imaging Science*. 2018. Vol. 8. doi: 10.4103/jcis.JCIS_64_17.
17. Ferraioli G., Wong V.W., Castera L. et al. Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations // *Ultrasound Med. Biol.* 2018. Vol. 44 (12). P. 2419–2440. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.008.
18. Ferraioli G., Barr R.G., Farrokhi A. et al. How to perform shear wave elastography. Part I // *Med. Ultrason.* 2022. Vol. 24 (1). P. 95–106. doi: 10.11152/mu-3217.
19. Борсуков А.В., Вендиктова Д.Ю., Скутарь А.И. и др. Эластография и стеатометрия печени с позиции мировых экспертов 2018–2022 гг. // *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2023. Т. 6, № 3. С. 32–40. [Borsukov A.V., Venidiktova D.Yu., Skutar A.I. et al. Elastography and Steatometry of the Liver from the Position of World Experts 2018–2022. *Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*, 2023, Vol. 6 (3), pp. 32–40 (In Russ.)]. doi: 10.37174/2587-7593-2023-6-3-32-40.
20. Бердников С.Н., Шолохов В.Н., Синукова Г.Т. и др. Дифференциальная диагностика очаговых гиперэхогенных образований в печени // *Колoproktologia*. 2017. Т. 2S. С. 19–25. [Berdnikov S.N., Sholokhov V.N., Siniukova G.T. et al. Differential diagnostics of liver hyperechoic lesions. *Koloproktologia*, 2017, Vol. (2S), pp 19–25 (In Russ.)]. doi: 10.33878/2073-7556-2017-0-2s-19-25.
21. Борсуков А.В., Морозова Т.Г., Мамошин А.В. и др. Мультипараметрическая эластография печени: современные перспективы в алгоритме диагностики диффузных заболеваний печени // *Вестник новых медицинских технологий*. 2019. Т. 26, № 2. С. 69–81. [Borsukov A.V., Morozova T.G., Mamoshin A.V. et al. Multiparametric liver elastography: modern perspectives in the algorithm of diagnosis of diffuse liver diseases. *Bulletin of new medical technologies*, 2019, Vol. 26 (2), pp. 69–81 (In Russ.)]. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16364.
22. Пиманов С.И., Митькова М.Д., Митьков В.В. Факторы, оказывающие влияние на результаты ультразвуковой эластометрии печени // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2021. Т. 4. С. 9. [Pimanov S.I., Mitkova M.D., Mitkov V.V. Factors influencing the results of ultrasound elastometry of the liver. *Ultrasound and functional diagnostics*, 2021, Vol. 4, p. 9 (In Russ.)]. doi: 10.24835/1607-0771-2021-4-9-29.
23. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A. et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version) // *Ultraschall in der medizin*. 2017. Vol. 38, No. 4. P. e16–e47. doi: 10.1055/s-0043-103952.